สารบัญ

คู่มือระดับ 2

	หน้า
บทที่ 1 ความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้า	3
1.1 การป้องกันอุบัติภัยทางด้านการติดตั้งระบบไฟฟ้า	3
1.2 การป้องกันอุบัติภัยทางด้านการปฏิบัติงานไฟฟ้า	5
1.3 การป้องกันอุบัติภัยทางด้านการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้า	7
บทที่ 2 เครื่องจักรกลไฟฟ้า	9
2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	9
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	13
2.3 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังชนิด 3 เฟส	18
บทที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ	42
3.1 แผงจ่ายไฟฟ้าประธาน (Main Distribution Board)	42
3.2 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)	44
3.3 หม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer)	47
3.4 เครื่องมือวัดค่าความต้านทานฉนวน (Megga Ohm Meter)	48
3.5 วัตต์ฮาวร์มิเตอร์ (Watt Hour Meter)	51
3.6 Ground Resistance	55
3.7 Lux Meter	57
3.8 Thermo Meter	58
3.9 Phase Sequence	60

บทที่ 4 อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินแบบต่างๆ 61

4.1 เครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่ว (RCD) 61

4.2 โอเวอร์โหลด 63

4.3 ฟิวส์แบบอื่นๆ 67

บทที่ 5 ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ 70

5.1 การเลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้า 77

5.2 ท่อประเภทต่างๆ 79

5.3 จำนวนสายไฟฟ้าที่เดินในท่อร้อยสาย 90

5.4 การเดินสายไฟฟ้าด้วยราง 92

5.5 การเลือกชนิดรางสำหรับเดินสายไฟฟ้า 93

5.6 การต่อลงดิน 97

บทที่ 6 การควบคุมมอเตอร์ 116

6.1 ตู้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ 116

6.2 สัญลักษณ์และอุปกรณ์ควบคุม 122

6.3 วงจรควบคุมแบบต่างๆ 123

6.4 วงจรควบคุมระบบปั๊มน้ำ 125

บทที่ 7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบสื่อสาร 127

7.1 ระบบโทรศัพท์ (Telephone) 130

7.2 ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Close Circuit Television) 134

7.3 ระบบเสียง (Audio System) 135

7.4 ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (LAN) 136

7.5 ระบบใยแก้วนำแสง (Fiber Optics) 137

บทที่ 1 ความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้า

คู่มือการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับช่างไฟฟ้าระดับ 2 ซึ่งเป็นระดับกลาง โดยมีเนื้อหาต่อเนื่องมาจากระดับ 1 ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 หัวข้อด้วยกัน หัวข้อแรกจะกล่าวถึงเรื่อง ความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรกลไฟฟ้า เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินแบบต่างๆ ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ การควบคุมมอเตอร์ และเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบสื่อสาร ผู้ที่จะเข้าอบรมและทดสอบในระดับ 2 จะต้องเข้ารับการฝึกอบรมและผ่านการทดสอบระดับ 1 มาตามลำดับชั้น หรือผ่านการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คู่มือการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับช่างไฟฟ้าระดับ 2 นี้จะกล่าวถึงความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้า โดยเน้นเรื่องการป้องกันภัย 3 ด้านคือ ด้านการติดตั้งระบบไฟฟ้า ด้านการปฏิบัติงานไฟฟ้า และด้านการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้า ตามรายละเอียดดังนี้

วิธีการปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยทางไฟฟ้า

เราสามารถแบ่งขอบเขตของการปฏิบัติ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยตามประเภทของการปฏิบัติงานทางไฟฟ้า ซึ่งคณะกรรมการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติได้แบ่งการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย หรือการปฏิบัติเพื่อป้องกันอุบัติภัยทางไฟฟ้าไว้ 3 ขั้นตอน คือ

1.1 การป้องกันอุบัติภัยทางด้านการติดตั้งระบบไฟฟ้า

การติดตั้งระบบไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นภายใน ภายนอกอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง หรือระบบไฟฟ้ากำลัง หลักสำคัญคือ ต้องปฏิบัติตามกฎการเดินสาย และการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่ออกโดยการไฟฟ้าฯ รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการติดตั้งระบบไฟฟ้าต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานเชื่อถือได้เช่น สายไฟที่มีขนาดเล็กกว่ามาตรฐานกำหนดของการไฟฟ้าฯ เพียงเพื่อต้องการลดค่าติดตั้งระบบไฟฟ้า เนื่องจากสายไฟขนาดเล็กจะทนปริมาณของกระแสไฟฟ้าได้น้อยกว่าสายขนาดใหญ่ หากภาระไฟฟ้าในบ้านมีจำนวนมากๆ ก็จะกินกระแสไฟฟ้ามาก ถ้าค่ากระแสไฟฟ้ามากกว่าค่าที่สายไฟทนได้จะเกิดความร้อนขึ้นที่สายไฟ และที่ฉนวนหุ้มในที่สุดฉนวนก็ลุกไหม้เป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ขึ้นได้

ตัวอย่างการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการติดตั้งระบบไฟฟ้า

1. อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด ควรมีการรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรมจากกระทรวงอุตสาหกรรม โดยการสังเกตได้จากเครื่องหมายมาตรฐานอุตสาหกรรม
2. เวลาติดตั้งระบบไฟฟ้าต้องมีป้ายแจ้งอันตรายในเขตที่มีส่วนของสายไฟที่เปลือยอยู่ เช่น ตู้ควบคุมไฟฟ้า ป้ายดังกล่าวต้องมีขนาดใหญ่พอที่ผู้ปฏิบัติงานจะสังเกตได้อย่างชัดเจน
3. การเดินสายไฟ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมควรเดินตามรหัสสีที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน และชนิดของสายไฟควรใช้ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโรงงาน

รูปสถานที่ก่อสร้างแสดงป้ายเตือนอันตรายจ่ายไฟฟ้าแล้ว

4. การติดตั้งมอเตอร์ต้องไม่ติดตั้งบริเวณทางเดินผ่าน มอเตอร์แบบที่เปลือกนอกไม่ได้หุ้มปิดต้องติดตั้งให้ไกลจากไอกรด ด่าง ฝุ่นละออง ความชื้น หรือบรรยากาศที่อาจระเบิดขึ้นได้ หากสถานที่จำกัด อาจติดตั้งไว้ที่สูงเหนือศีรษะ ใต้พื้นห้อง หรือแยกห้องไว้ต่างหาก

5. ในการเดินสายไฟ หรือลากสายไฟไปใช้งานนอกอาคารเป็นการชั่วคราว หรือถาวร ต้องเป็นชนิดที่กันน้ำ ทนต่อสภาวะแวดล้อมทางกล และแสงแดด วงจรไฟฟ้าหรือเต้ารับต้องมีเครื่องตัดไฟรั่วด้วย

6. ไม่ควรใช้สวิตช์ใบมีดที่เปิดเปลือยต้องมีวัสดุที่เป็นฉนวนห่อหุ้มมิดชิด และต้องมีด้ามชักปลดสวิตช์เป็นฉนวนอยู่ด้านนอก

7. ตู้สวิตช์บอร์ดต้องติดตั้งให้สะดวกต่อการปฏิบัติงาน และไม่เปิดเปลือยสายไฟให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าใกล้ได้ หลังตู้สวิตช์บอร์ดควรวางให้ห่างจากผนังพอสมควร ไม่ควรมีกองขยะ หรือสิ่งกีดขวางบริเวณหลังตู้สวิตช์บอร์ด

8. ด้านหน้า และด้านหลังตู้สวิตช์บอร์ดควรมีไฟส่องสว่าง

9. สวิตช์ ฟิวส์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบกันในตู้สวิตช์บอร์ดต้องมีประตูเปิดปิดได้ตลอดเวลา และควรทาสีให้สะดุดตา เช่น สีแดง สีส้ม และมีข้อความเตือนอันตราย

10. เต้าเสียบที่ใช้ในโรงงาน หรือในบ้านพักอาศัยควรมี 3 ขั้ว โดยมีขั้วหนึ่งเป็นขั้วสายดินสำหรับต่อกับเปลือกนอกของอุปกรณ์ไฟฟ้า

11. สายไฟเข้าเครื่องมือชนิดหิ้ว หรือเคลื่อนที่ได้ ควรเป็นประเภททำด้วยพีวีซี เพื่อป้องกันการเสื่อมของฉนวนเมื่อถูกน้ำมัน

12. สายไฟเข้าขดลวดความร้อนหรือเตารีด ควรมีฉนวนกันความร้อนหุ้ม เช่น ฉนวนแร่ใยหิน

13. แผงสวิตช์ย่อยที่แยกออกมาจากสวิตช์บอร์ดควรยกให้สูงเหนือพื้น และควรเขียนแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ตามสวิตช์ต่างๆ แผงสวิตช์แยกที่ตั้งกลางแจ้งต้องมีหลังคาคลุม

14. การเดินสายไฟภายในบ้านพักอาศัยต้องเดินให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ใช้อุปกรณ์มีมาตรฐานเชื่อถือได้ และควรให้ช่างไฟฟ้าติดตั้งระบบไฟฟ้า

15. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ตากแดดตากฝนอยู่เสมอ เช่น สวิตช์กระดิ่งไฟฟ้า หลอดไฟแสงสว่างบริเวณบ้านพักอาศัยจะต้องใช้แบบที่กันน้ำได้

16. ควรต่อสายดินที่ครอบโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว

17. อย่าเดินสายไฟฟ้าที่ต้องการใช้ชั่วคราวอย่างลวกๆ อาจทำให้มีบุคคลถูกไฟฟ้าที่จุดบกพร่องบางแห่งได้รับอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต

18. อย่าใช้ลวดทำราวตากผ้าขึงใกล้สายไฟ เพราะไฟฟ้าอาจรั่วตามเส้นลวดเป็นอันตรายแก่ชีวิตได้

19. อย่าเดินสายไฟฟ้าติดรั้วสังกะสี หรือโครงเหล็ก โดยไม่ใช้วิธีร้อยสายในท่อ

20. การติดตั้งเสาอากาศโทรทัศน์ ควรติดตั้งให้ห่างจากเสาไฟ เพราะเสาอากาศโทรทัศน์อาจล้มไปถูกสายไฟฟ้า เนื่องจากลมพายุ หรือด้วยเหตุอื่นใด ซึ่งจะทำให้บุคคลภายในบ้านอาจได้รับอันตรายได้

21. การก่อสร้างหากจำเป็นต้องตั้งปั้นจั่นใกล้สายไฟฟ้าแรงสูง ควรแจ้งการไฟฟ้าฯ ให้ป้องกันหรือแก้ไขก่อน

1.2 การป้องกันอุบัติภัยทางด้านการปฏิบัติงานไฟฟ้า

การป้องกันอุบัติภัยทางด้านการปฏิบัติงานไฟฟ้า หมายถึง การปฏิบัติอย่างไรจึงจะมีความปลอดภัยในระหว่างการปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า ก่อนที่ผู้ปฏิบัติงานจะเริ่มทำงานต้องตรวจสอบแผงวงจร และป้ายแขวน เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ที่ทำการซ่อมบำรุงรักษาได้ทำการปลดไฟออกแล้ว และในขณะที่กำลังปฏิบัติงานต้องมีผู้ควบคุม เพื่อมิให้ผู้หนึ่งผู้ใดสับสวิตช์จ่ายไฟเข้าอุปกรณ์ แม้ว่าจะเป็นการบังเอิญก็ตาม

บริเวณที่ปฏิบัติงานควรมีผ้ายางและพรมยางคลุม เพื่อป้องกันไฟฟ้าดูด และเพื่อความปลอดภัยในระหว่างปฏิบัติงานต้องมีผู้ปฏิบัติงานอย่างน้อย 2 คน ถึงแม้ว่างานนั้นจะทำได้เพียงคนเดียว ทั้งนี้เพื่อช่วยเหลือในกรณีฉุกเฉิน ทั้งนี้ผู้ปฏิบัติงานไม่ควรสวมใส่วัตถุที่เป็นสื่อไฟฟ้าทุกชนิดเช่น แหวน สร้อย เป็นต้น เพราะวัตถุเหล่านี้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าได้ดี และอาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

หลักโดยทั่วไปเมื่อปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า

1. อย่าใช้เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าในขณะที่มือเปียก หรือยืนบนพื้นที่เปียก
2. อย่าใช้ไฟฟ้าหรือเปิดสวิตซ์ไฟฟ้าเช่น พัดลมระบายอากาศในบริเวณที่มีไอของสารระเหย หรือก๊าซที่ไวไฟปกคลุมอยู่เต็มพื้นที่ เช่น ก๊าซหุงต้ม ทินเนอร์ หรือ ไอน้ำมันเบนซิน เป็นต้น
3. หากเห็นประกายไฟ หรือมีควันไฟให้ปิดสะพานไฟ และรีบรายงานผู้ควบคุมทันที
4. ปลั๊ก หัวเสียบ รอยเชื่อมต่อ หรือข้อต่อของสายไฟ มักเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดการลัดวงจร ต้องแน่ใจว่า อยู่ในสภาพเรียบร้อยก่อนนำไปใช้งานเสมอ
5. ก่อนทำงานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดให้คำนึงถึงว่า อุปกรณ์ทุกชิ้นมีไฟอยู่จนกว่าจะได้รับการทดสอบแล้วว่า อุปกรณ์เหล่านั้นไม่มีกระแสไฟ
6. ถ้าจำเป็นต้องปฏิบัติงานในที่ซึ่งไม่อาจตัดกระแสไฟออกได้โดยสิ้นเชิงจะต้องกั้นขอบเขต หรือวิธีการใดๆ ที่จะป้องกันไม่ให้ผู้อื่นเข้าใกล้ได้ ขอบเขตปฏิบัติงานต้องมีให้เพียงพอที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถหนีภัยออกมาได้ง่าย
7. ส่วนที่มีกระแสไฟ ถ้าจะปลอดภัยยิ่งขึ้นควรคลุมด้วยผ้าห่มฉนวนไฟฟ้า หรือ ปลอกฉนวนหุ้มสายไฟ
8. ถ้าผู้ปฏิบัติงานละทิ้งงานอยู่ช่วงหนึ่ง เช่น ช่วงพักกลางวัน เมื่อกลับมาปฏิบัติงานต่อจะต้องตรวจสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือเครื่องหมายต่างๆ ที่ทำไว้ก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง
9. การปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าจะต้องมีผู้ปฏิบัติงานร่วมกันอย่างน้อย 2 คน
10. ถ้าต้องการใช้ถุงมือยางกันไฟฟ้าควรตรวจสอบให้แน่ใจว่า มีรูรั่วหรือไม่ และถ้าต้องปฏิบัติงานกับส่วนที่มีคมของสายไฟควรสวมถุงมือยางทับอีกชั้นหนึ่ง
11. สายไฟชั่วคราวจะต้องพาดเหนือศีรษะอย่าวางทอดไปตามพื้น
12. ขั้วของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าต้องสวมฝาครอบปิดให้เรียบร้อย เมื่อเลิกใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าต้องปลดสวิตซ์ตัดตอนออกให้เรียบร้อย ในการใช้งานอย่าวางหัวจับลวดเชื่อมไฟฟ้าไว้กับพื้น หรือทางเดินผ่าน
13. ปฏิบัติงานกับเครื่องเชื่อมต้องแต่งกายรัดกุม สวมเครื่องป้องกัน และถ้าจะให้ปลอดภัยต่อผู้อื่นควรมีฉากกั้น
14. การก่อสร้างใกล้สายไฟแรงสูงต้องให้การไฟฟ้าฯ สวมปลอกฉนวนเสียก่อน
15. ไม่ควรต่อไฟใช้เองถ้าไม่มีความเข้าใจเรื่องไฟฟ้าดีพอ
16. สายปลั๊กของอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องตรวจดูว่า มีหัวเสียบเรียบร้อยหรือไม่ อย่าใช้สายไฟล้วนๆ แหย่เข้าไปในเต้ารับไฟฟ้า

รูปแสดงการปฏิบัติงานติดตั้งไฟฟ้าต้องไม่น้อยกว่า 2 คน

17. อย่าใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกินกำลังของเต้ารับ

18. ถ้าไม่มีหัวเสียบและเต้าเสียบแบบ 3 ขั้วใช้ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าผู้ใช้ควรยืนอยู่บนฉนวนไฟฟ้า เช่น แผ่นยาง อย่ายืนด้วยเท้าเปล่าบนพื้นปูน หรือ พื้นที่เปียก

19. อย่าใช้ไฟฟ้าจับปลาจะถูกกระแสไฟฟ้าชอร์ตจนทำให้เสียชีวิตได้

20. อย่าใช้สวิตช์ปิดเปิดบนเตียงนอน เนื่องจากอาจนอนทับจนแตกทำให้ถูกไฟดูดได้

21. อย่าใช้ขั้วต่อแยกเสียบปลั๊กหลายทางเป็นการใช้กระแสไฟฟ้าเกินกำลัง จะทำให้สายที่เต้าเสียบร้อน หรือชำรุด อาจเกิดเพลิงไหม้ได้

22. อย่าปล่อยให้สายเครื่องใช้ไฟฟ้าเช่น พัดลมอยู่ใต้เสื่อ หรือพรม หรือปล่อยให้ของหนักทับ เพราะอาจทำให้สายไฟฉีกขาดได้

23. อย่าเข้าไปใกล้อุปกรณ์ที่จ่ายไฟฟ้า อย่ายืนพิงแตะต้อง หรือปีนป่ายเสา และสายชนิดต่างๆ ที่อยู่ตามถนนสาธารณะ

1.3 การป้องกันอุบัติภัยทางด้านการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้า

ผู้ที่ทำหน้าที่ซ่อมบำรุงไฟฟ้าจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า ช่างสังเกต และรอบคอบในระบบไฟฟ้าที่ใช้อย่างสม่ำเสมอเช่น โรงงานอุตสาหกรรม อาคาร หรือบ้านพักอาศัย ควรมีการตรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นประจำ มีตารางการซ่อมบำรุงไฟฟ้าที่กำหนดระยะเวลาแน่นอน มีการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย โดยในการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าทุกครั้ง ผู้ปฏิบัติงานต้องพร้อมในการใช้เครื่องมือทุกชนิดให้ถูกต้องกับประเภทของงาน ด้ามจับเครื่องมือทุกชิ้นต้องมีฉนวนหุ้มมิดชิด ขณะปฏิบัติการซ่อมบำรุงไฟฟ้าควรมีการแจ้งให้ผู้อื่นทราบโดยทั่วกัน อาจติดป้ายซ่อมบำรุงให้เด่นชัด และกำหนดระยะเวลาที่แน่นอน หากมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ต้องแจ้งผู้ร่วมงานทราบทุกครั้งและที่สำคัญคือ อย่าปฏิบัติงานคนเดียว

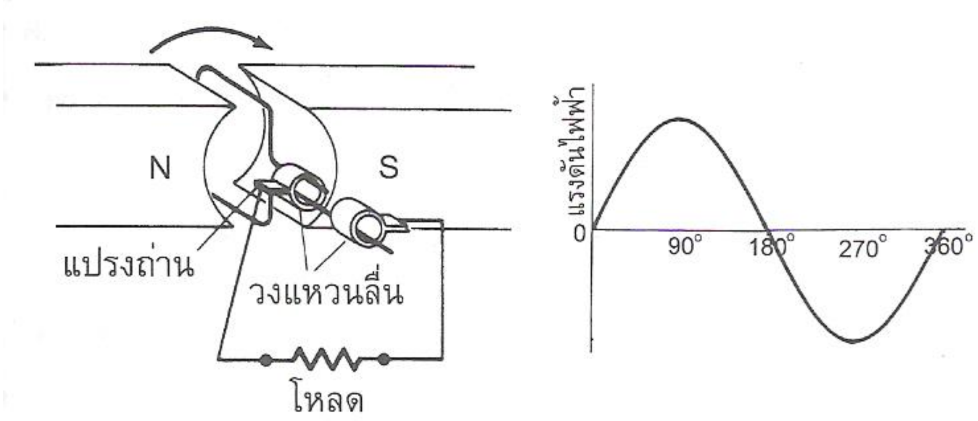
ข้อแนะนำในการซ่อมบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า

1. ผู้ปฏิบัติงานต้องเป็นช่างผู้ชำนาญงาน มีความเข้าใจด้านไฟฟ้าเป็นอย่างดี
2. ใช้วัสดุหรืออุปกรณ์ที่เชื่อถือได้
3. ทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเครื่องมือ อย่าใช้มือแตะ
4. ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความเข้าใจเรื่องไฟฟ้าที่จะทำเป็นอย่างดี และเครื่องมือที่ใช้จะต้องมีฉนวนหุ้ม
5. หัวหน้างานต้องควบคุมให้ผู้ปฏิบัติงานทำตามแผนงานที่กำหนดไว้ และกำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตราย เช่น ถุงมือยาง ปลอกฉนวน หมวกนิรภัย เป็นต้น
6. ก่อนเข้าปฏิบัติงานต้องป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่ทำการซ่อมมีกระแสไฟอยู่ ต้องปลดสวิตช์ ฟิวส์ หรือ ยกคัตเอาต์ออกจากวงจรจ่ายไฟ และมีป้ายแขวน ก่อนการปฏิบัติงานผู้ควบคุมควรตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง
7. เมื่อมีการเปลี่ยนฟิวส์ อย่าใช้ฟิวส์ใหญ่เกินกำลังสาย และอย่าใช้ลวดทองแดงแทนฟิวส์
8. สายไฟในบ้านพักอาศัยเมื่อใช้นานๆ ควรทดสอบความต้านทานฉนวนของสายไฟ
9. อุปกรณ์ไฟฟ้ารวมทั้งสายปลั๊กต้องตรวจสอบดูว่า มีกระแสไฟรั่วหรือไม่ สายชำรุดหรือไม่
10. หัวเสียบและเต้าเสียบไฟฟ้า ถ้าชำรุดต้องเปลี่ยนทันที
11. การต่อ หรือซ่อมสายไฟ การเปลี่ยนฟิวส์ ต้องทำการปลดสวิตช์ตัดตอนออกก่อน
12. ถ้าฉนวนครอบสวิตช์ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ แตกชำรุด ควรซ่อมแซมให้เรียบร้อย
13. อย่าแก้ไขไฟฟ้าเองโดยไม่มีความรู้เรื่องไฟฟ้า
14. อย่าปล่อยให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปียกน้ำ เพราะน้ำเป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้ามาสู่ผู้ใช้งาน
15. อย่าใช้น้ำมันประเภทไวไฟล้างเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสียบปลั๊กอยู่

บทที่ 2 เครื่องจักรกลไฟฟ้า

2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีโครงสร้างหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนแรกอยู่กับที่เรียกว่า " สเตเตอร์ " (Stator) ส่วนที่สองหมุนได้เรียกว่า " โรเตอร์ " (Rotor) วงจรการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ อธิบายอย่างง่ายๆ ได้จากภาพคือ มีขดลวดเพียงชุดเดียวต่อกับวงแหวนลื่น (Slip ring) หมุนผ่านขั้วแม่เหล็ก เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกขับ หรือถูกหมุนจะเกิดแรงดันไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟฟ้าไปยังโหลดจากแปรงถ่านที่สัมผัสกับวงแหวนลื่น จะได้รูปคลื่นไฟฟ้าเป็นด้านบวก และด้านลบอย่างละ 1 ยอดคลื่นใน 1 รอบของการหมุน



รูปแสดงลักษณะอย่างง่ายๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งได้เป็น 2 ชนิด เช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดซิงโครนัส (Synchronous Generator)
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดอินดักชั่น (Induction Generator)

การจัดโหลดในการใช้งาน

โดยปกติแล้วความต้องการในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าทั่วไป ก็เพื่อให้ระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานได้ต่อเนื่องตลอดเวลา เนื่องจากไม่ต้องการให้ระบบไฟฟ้าหยุดชะงักการจ่ายไฟนานเกินไปจนเกิดความเสียหายต่อระบบเครือข่ายไฟฟ้า และการใช้งานได้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานเป็นเวลานานเท่าที่จะจัดหาเชื้อเพลิงมาได้ ดังนั้นการนำมาใช้งานกับโหลด จึงต้องจัดโหลดเป็น 3 กลุ่มตามลำดับของการใช้งาน ดังนี้

1. โหลดวิกฤต (Critical load)

โหลดชนิดนี้เป็นโหลดที่มีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งไม่ยินยอมให้หยุดชะงักการจ่ายไฟฟ้านานเกินครึ่งไซเกิล (10 มิลลิวินาที) เช่น ระบบคอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสาร เป็นต้น ดังนั้นโหลดชนิดนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ร่วมกับเครื่องยูพีเอส (Uninterruptible power supply) โดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องยูพีเอสก่อนจ่ายไปยังโหลดชนิดนี้

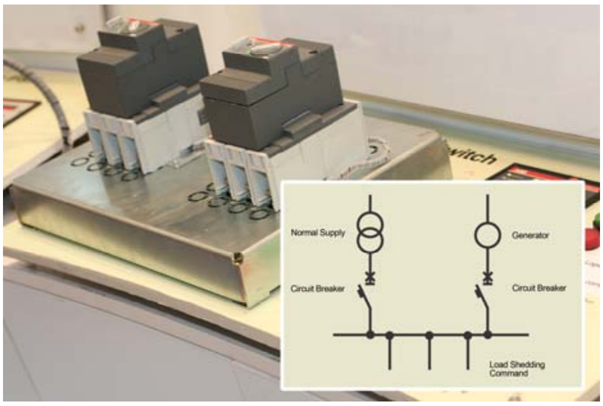
2. โหลดจำเป็น (Essential load)

โหลดชนิดนี้เป็นโหลดเกี่ยวกับความปลอดภัย ยินยอมให้หยุดชะงักการจ่ายไฟฟ้าได้บ้างแต่ต้องไม่เกิน 30 วินาที เช่น ระบบส่องสว่างฉุกเฉิน ระบบทำความเย็นแบบพิเศษ ระบบป้องกันเพลิง ระบบรักษาความปลอดภัย เป็นต้น

3. โหลดปกติ (Normal load)

โหลดชนิดนี้เป็นโหลดที่ยินยอมให้หยุดชะงักการจ่ายไฟฟ้าได้นานๆ เช่น ระบบแสงสว่างทั่วไป ระบบปรับอากาศทั่วไป เป็นต้น

ระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไว้ด้วยนั้น ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทำการย้ายโหลดให้ไปต่อเข้ากับไฟฟ้าฉุกเฉินตามภาพ อุปกรณ์ย้ายโหลดดังกล่าวนี้มี 2 ชนิด คือ “ สวิตซ์ย้ายโหลดอัตโนมัติ ” (ATS-Automatic transfer switch) และ “ สวิตซ์ย้ายโหลดด้วยมือ ” (MTS-Manual transfer switch) ส่วนใหญ่มักนิยมใช้แบบอัตโนมัติ ขั้นตอนที่มีการย้ายโหลดอัตโนมัติดังกล่าวจะมีช่วงที่ไฟฟ้าหยุดชะงักหรือขาดตอนไม่นานนักคือ ประมาณ 5 วินาทีถึง 5 นาที โดยขึ้นอยู่กับการตั้งเวลาของผู้ใช้งาน



รูปแสดงระบบไฟฟ้าที่มีการจ่ายโหลดชนิดต่างๆ

การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีอุปกรณ์ประกอบ เช่น เครื่องยนต์ดีเซล ออลเตอร์เนเตอร์ แผงควบคุม แบตเตอรี่ ท่อไอเสีย ระบบระบายความร้อน ถังเก็บน้ำมันสำรอง สวิตช์ย้ายโหลด เป็นต้น ดังนั้นการประกอบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ต้องมีการติดตั้งเครื่องรวมทั้งอุปกรณ์ประกอบให้สมบูรณ์ครบถ้วนตามภาพ

รูปการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์ประกอบ

อุปกรณ์ประกอบในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีรายละเอียด ดังนี้

1. เครื่องยนต์ (Engine)

เครื่องยนต์จะต้องเป็นเครื่องยนต์ดีเซล หรือเครื่องยนต์เบนซินแล้วแต่กรณี โดยทำงานแบบ 4 จังหวะหรือ 2 จังหวะตามขนาดของเครื่องยนต์ มีระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่และมีความเที่ยงตรง ± 2% ที่ภาวะปกติ ระบบเชื้อเพลิงควรมีปั้มถ่ายน้ำมันพร้อมเครื่องกรองน้ำมันแบบเปลี่ยนไส้ได้ โดยมีถังน้ำมันภายนอกพร้อมเครื่องสูบน้ำมันแบบใช้ไฟฟ้า และมือโยก การระบายความร้อนให้ใช้น้ำ หรืออากาศตามความเหมาะสม โดยมีการระบายความร้อนผ่านรังผึ้งออกนอกอาคาร และควรมีระบบสตาร์ทด้วยไฟฟ้า โดยสามารถสตาร์ทได้ทั้งมือ และอัตโนมัติ

2. ออลเตอร์เนเตอร์ (Alternator)

ออลเตอร์เนเตอร์เป็นเครื่องผลิตไฟฟ้าที่ต่อเพลาขับโดยตรงกับเครื่องยนต์ และมีการออกแบบให้จ่ายพลังไฟฟ้าให้กับโหลดไม่เชิงเส้นได้ โดยไม่เกิดความร้อนหรือเกิดผิดเพี้ยนของรูปคลื่นไฟฟ้า และต้องมีชุดควบคุมให้คงที่เที่ยงตรงของแรงดันไฟฟ้า ± 2% และความถี่ไฟฟ้า ± 1% พร้อมกับมีอุปกรณ์กรองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ให้รบกวนระบบอื่น

3. แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ต้องมีประสิทธิภาพในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่สตาร์ทมอเตอร์อย่างน้อย 4 ครั้ง พร้อมกับมีระบบอัดไฟแบตเตอรี่เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน โดยสามารถอัดไฟแบตเตอรี่ได้เต็มใน 12 ชั่วโมง

4. แผงควบคุมเครื่อง (Control Panel)

แผงควบคุมเครื่องประกอบด้วย มาตรวัดทางกลและทางไฟฟ้าเช่น อุณหภูมิ ความเร็วรอบ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้า เป็นต้น โดยมีอุปกรณ์ป้องกันพร้อมสัญญาณแจ้งเหตุเมื่อเกิดขัดข้อง หรือ เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น

5. การป้องกันการสั่นสะเทือน

การป้องกันการสั่นสะเทือนเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานมีความสำคัญมาก ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบฐานรับน้ำหนักเป็นอย่างดี พร้อมทั้งจัดหาอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือนรองรับที่ฐานของเครื่อง เช่น สปริง หรือยางรองกันสะเทือน

รูปการติดตั้งสปริงลดการสั่นสะเทือน

6. เสียงรบกวน

ในการติดตั้งระบบที่ต้องการให้มีการเก็บเสียง ควรสร้างห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นห้องพิเศษที่มีผนังเก็บเสียง ซึ่งลดระดับเสียงลงประมาณ 35 ถึง 40 เดซิเบล (ให้เหลือไม่เกิน 75 เดซิเบล เมื่อวัดภายนอกห้องระยะ 1 เมตรจากผนังห้อง) ทั้งนี้การติดตั้งห้องเก็บเสียงจะต้องมีพัดลมระบายอากาศโดยมีการควบคุมพัดลมให้ทำงานอัตโนมัติ เมื่ออุณหภูมิในห้องสูงเกิน 30 $^{\circ}$C และต้องมีแผงแสดงผลระยะไกล (Remote monitoring) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกด้วย

รูปการติดตั้งห้องเก็บเสียงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะนำมาใช้งานกับโหลดต่างๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งด้านประสิทธิภาพ ด้านการประหยัดพลังงาน ด้านการลงทุน และด้านที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่างๆ ให้ครบถ้วนทุกด้านทั้งขนาดเครื่อง ลักษณะของโหลดใช้งาน การติดตั้งที่ถูกวิธีทั้งทางกล และทางไฟฟ้ารวมถึงความปลอดภัย นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงการป้องกันอัคคีภัยที่อาจเกิดขึ้นจากความร้อนในการทำงานของเครื่องยนต์ และน้ำมันเชื้อเพลิงอีกด้วย

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

แบ่งออกตามโครงสร้าง และหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชั่น (3 Phase Induction Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชั่น (3 Phase Induction Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่มีคุณสมบัติที่ดีคือ มีความเร็วรอบคงที่ เนื่องจากความเร็วรอบของอินดักชั่นมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษา เพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Invertor) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์ จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ นิยมใช้เป็นต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อใช้ขับเคลื่อนลิฟต์ ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึง เป็นต้น

มอเตอร์อินดักชั่นมี 2 แบบ แบ่งตามลักษณะของตัวหมุน คือ

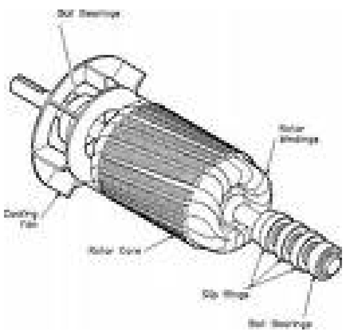
1.1 อินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)

อินดักชั่นมอเตอร์แบบนี้ ตัวโรเตอร์จะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอกเหมือนกับโรเตอร์ของสปลิทเฟสมอเตอร์ สำหรับตัวสเตเตอร์เป็นโครงสร้างเหล็กหล่ออยู่ภายนอกและภายใน เป็นเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน มีร่อง และมีการพันขดลวดสเตเตอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหมุนจำนวน 3 ขด ตามจำนวนของลำดับเฟสของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ลักษณะของสเตเตอร์และขดลวดดังรูป

รูปแสดงโรเตอร์และสเตเตอร์ของอินดักชั่นมอเตอร์ 3 เฟส

1.2 อินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor Induction Motor)

อินดักชั่นมอเตอร์ชนิดนี้ตัวโรเตอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน เป็นตัวทุ่นคล้ายๆ อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีร่องสำหรับวางขดลวดของตัวโรเตอร์เป็นขดลวด 3 ชุด สำหรับสร้างขั้วแม่เหล็ก 3 เฟสเช่นกัน ปลายของขดลวดทั้ง 3 ชุดต่อกับสลิปริง (Slip Ring) จำนวน 3 อัน สำหรับเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าครบวงจรทั้ง 3 เฟส ส่วนประกอบอื่นๆ ของมอเตอร์ชนิดนี้เหมือนกันกับชนิดที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก ลักษณะของโรเตอร์แบบขดลวด แสดงในรูป



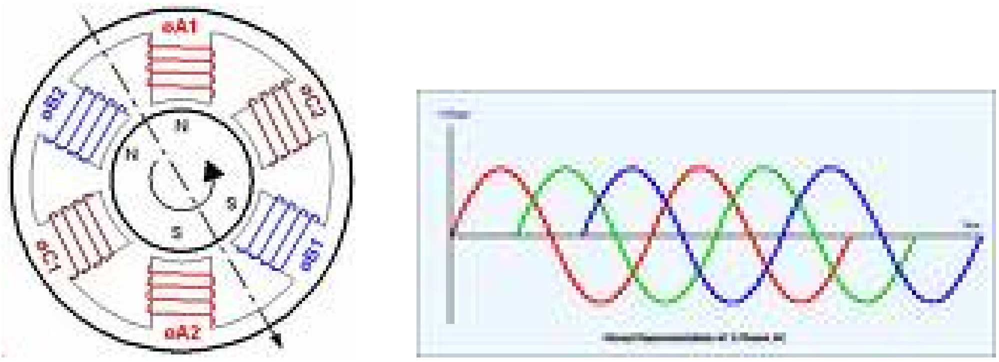
รูปแสดงโรเตอร์ของอินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด

ลักษณะภายนอกของอินดักชั่นมอเตอร์ 3 เฟส ทั้งชนิดที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกและชนิดมีโรเตอร์แบบขดลวด แสดงดังรูป

รูปแสดงลักษณะภายนอกของอินดักชั่นมอเตอร์ 3 เฟสลักษณะต่างๆ

การทำงานของอินดักชั่นมอเตอร์

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟสที่ขดลวดทั้งสองของตัวสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบๆ ตัวสเตเตอร์ ทำให้ตัวหมุนได้รับการเหนี่ยวนำเกิดขั้วแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์ และขั้วแม่เหล็กนี้จะพยายามดึงดูดกับสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่รอบๆ ทำให้โรเตอร์ของอินดักชั่นมอเตอร์หมุนไปได้ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวสเตเตอร์นี้จะคงที่ตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นโรเตอร์ของอินดักชั่นมอเตอร์จึงหมุนตามสนามแม่เหล็กหมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน



รูปแสดงการหมุนของอินดักชั่นมอเตอร์

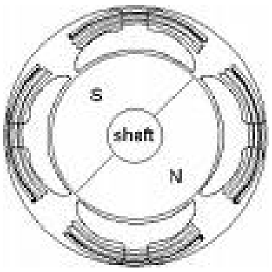
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดพิกัดของกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 150 KW (200 hp) จนถึง 15 MW (20,000 hp) มีความเร็วตั้งแต่ 150 ถึง 1,800 RPM

โครงสร้างของซิงโครนัสมอเตอร์ ที่สำคัญมี 2 ส่วน คือ

1. สเตเตอร์ (Stator)

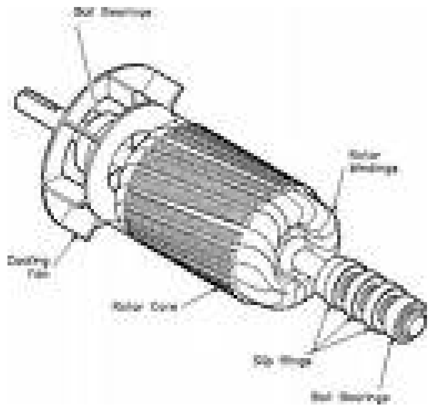
สเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์เหมือนกับสเตเตอร์ของ 3 เฟสอินดักชั่นมอเตอร์ มีร่องสำหรับพันขดลวดจำนวน 3 ชุดเฟสละ 1 ชุด เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น เช่นเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุนของอินดักชั่นมอเตอร์ ลักษณะของสเตเตอร์แสดงดังรูป



รูปสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์

2. โรเตอร์ (Rotor)

โรเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันรอบๆ ขั้วแม่เหล็กยื่น ขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันรอบขั้วแม่เหล็กยื่นนี้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวโรเตอร์ ลักษณะของโรเตอร์แสดงในรูป



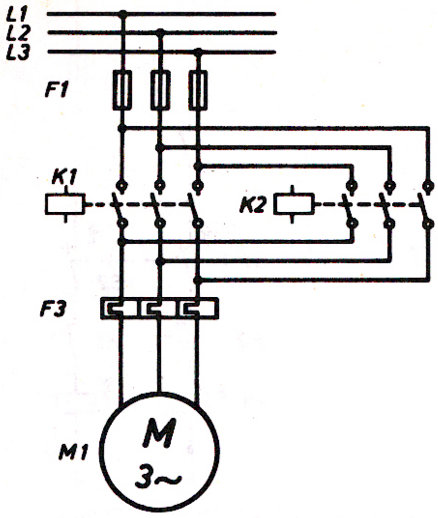
รูปโรเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์

การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน เนื่องจากตัวหมุน (โรเตอร์) ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวดสนามแม่เหล็กพันอยู่รอบๆ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสภายนอก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์ ทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ ขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์

การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

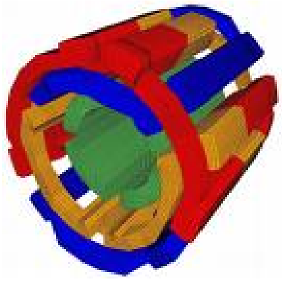
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสทั้ง 2 ชนิด คือ อินดักชั่นมอเตอร์ และซิงโครนัสมอเตอร์ สามารถใช้หลักการกลับทางการหมุนของมอเตอร์วิธีเดียวกันคือ การกลับทิศทางการหมุนของสนามแม่เหล็กหมุน วิธีการทำให้สนามแม่เหล็กหมุนกลับทางเดิม โดยการกลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับคู่ใดคู่หนึ่งเท่านั้น



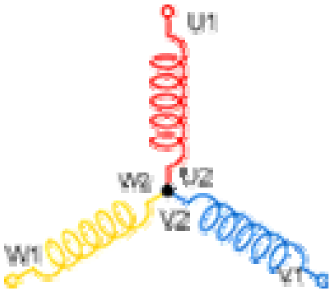
รูปแสดงการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

การต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

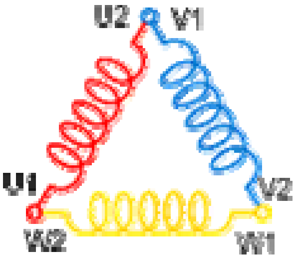
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสมีขดลวดพันอยู่บนสเตเตอร์ 3 ชุดคือ ขดลวดชุด A , ชุด B และชุด C ลักษณะขั้วของขดลวดทั้ง 3 ชุด แสดงในรูป (ก) การต่อมอเตอร์ 3 เฟสสามารถต่อขดลวดได้ 2 แบบ แต่ละแบบใช้กับระดับแรงดันที่แตกต่างกันคือ แบบสตาร์หรือแบบวาย (Y-Connection) และแบบเดลต้า (Δ-Connection) เมื่อต่อแบบวายจะต่อใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลต์ ดังรูป (ข) แต่ถ้าต่อแบบเดลต้าจะต่อได้ดังรูป (ค)



รูป (ก) ขดลวดสเตเตอร์ 3 เฟส



รูป (ข) การต่อแบบวาย (Y)

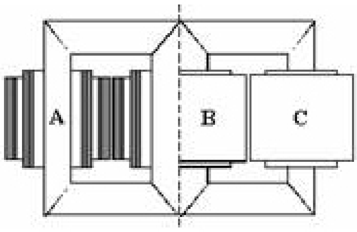


รูป (ค) การต่อแบบเดลต้า

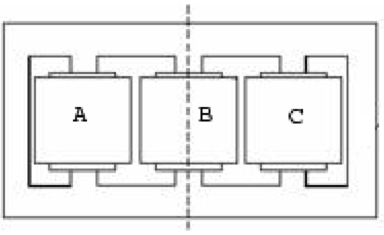
รูปแสดงขดลวดและการต่อขดลวดของมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส

2.3 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังชนิด 3 เฟส

ปกติไฟฟ้าที่ใช้งานจะมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยจ่ายไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นหม้อแปลงไฟฟ้าที่นำมาใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสก็ต้องเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสด้วยเช่นกัน หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟสอาจเป็นการนำเอาหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสจำนวน 3 ตัวมาต่อเข้าด้วยกัน หรือเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสจำนวน 1 ตัวก็ได้ แกนเหล็กหม้อแปลง 3 เฟสแสดงดังรูป โดยขดลวดทั้งสามจะพันเป็นแต่ละเฟส โดยการพันที่ขาแกนเหล็กแต่ละขา



Core Type



Shell Type

รูปแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

รูปแกนเหล็กและขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส รูปลักษณะภายนอกหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

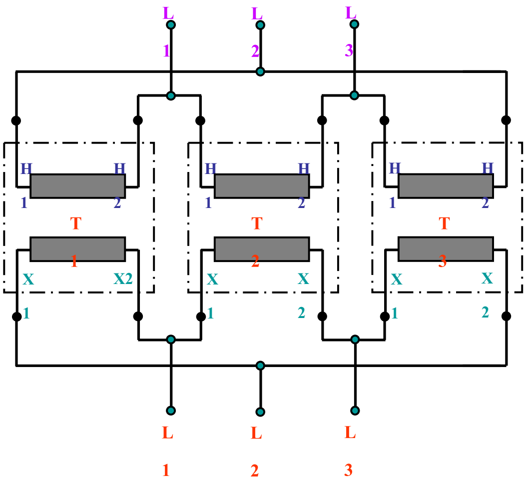
หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กับไฟฟ้าระบบ 3 เฟส อาจใช้หม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว หรือหม้อแปลง 3 เฟส 1 ตัวก็ตาม ทั้งหมดนี้มีการต่อหม้อแปลงในแต่ละเฟสเข้าด้วยกัน ซึ่งการต่อหม้อแปลงเข้าด้วยกันเรียกว่า Transformer connection

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส สามารถต่อได้ดังนี้

1. การต่อแบบเดลตา – เดลตา
2. การต่อแบบวาย – วาย
3. การต่อแบบเดลตา – วาย
4. การต่อแบบวาย – เดลตา
5. การต่อแบบโอเพนเดลตา

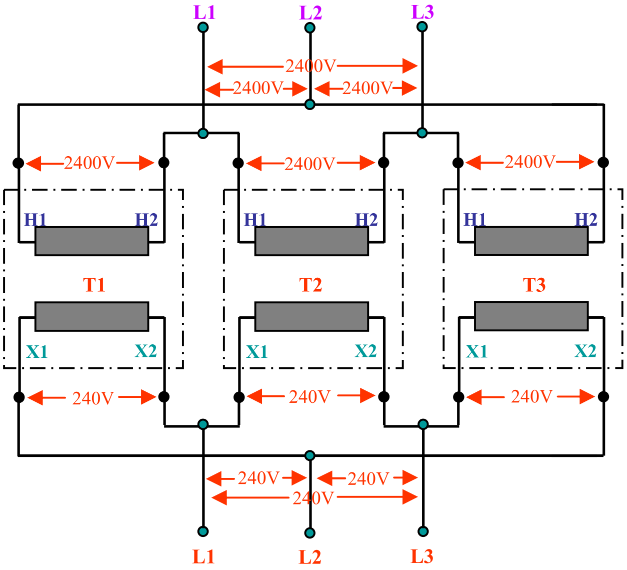
1. การต่อแบบเดลตา - เดลตา (Delta - Delta Connection)

ถ้าต้องการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัวมาต่อใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยมีการต่อเป็นแบบเดลตา - เดลตา สามารถต่อได้ดังแสดงในรูป



รูปการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – เดลตา

หากต้องการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสจำนวน 3 ตัวขนาดแรงดันไฟฟ้า 2,400/240 โวลต์ ให้เป็นหม้อแปลง 3 เฟส ชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลงจาก 2,400 โวลต์เป็น 240 โวลต์ 3 เฟส สามารถต่อได้ดังรูป



รูปการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา - เดลตา 2400/240 V

จากรูปแสดงการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัวใช้กับไฟฟ้าระบบ 3 เฟส โดยทางด้านขดปฐมภูมิ และทางด้านขดทุติยภูมิต่อเป็นแบบเดลตา ใช้สัญลักษณ์ Δ-Δ ทางด้านขดปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 2,400 โวลต์ 3 เฟส ทางด้านขดทุติยภูมิได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 240 โวลต์ ในการต่อหม้อแปลงจะต้องคำนึงถึงขั้วของหม้อแปลงด้วย โดยให้ขดลวดทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงคือ ขดปฐมภูมิแทนด้วย H_1 และ H_2 ส่วนขดลวดทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำคือ ขดทุติยภูมิแทนด้วย X_1 และ X_2 การต่อแบบเดลตานี้มีลักษณะการต่อคล้ายกับการต่อแบบอนุกรมคือ ขดปฐมภูมินำขั้ว H_2 ของหม้อแปลงตัวที่ 1 ต่อเข้ากับขั้ว H_1 ของหม้อแปลงตัวที่ 2 แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เส้นและนำขั้ว H_2 ของหม้อแปลงตัวที่ 2 ต่อเข้ากับขั้ว H_1 ของหม้อแปลงตัวที่ 3 แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เส้น และนำขั้ว H_2 ของหม้อแปลงตัวที่ 3 ต่อเข้ากับขั้ว H_1 ของหม้อแปลงตัวที่ 1 แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เส้นของไฟฟ้า 3 เฟส (หรือจุดต่อแต่ละจุดนั้นนำไปต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส) 2,400 โวลต์ ในทำนองเดียวกันขดลวดทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำคือ ขดทุติยภูมิก็จะต่อเช่นเดียวกับขดลวดปฐมภูมิจะได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตทางด้านขดทุติยภูมิมีค่า 240 โวลต์

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าในแบบเดลตา - เดลตา จะได้ผลดังนี้

ทางด้านขดปฐมภูมิ

$$V_L = V_P$$

$$I_L = \sqrt{3}\ I_P$$

ทางด้านขดทุตยภูมิ

$$V_L = V_P$$

$$I_L = \sqrt{3}\ I_P$$

เมื่อ V_P = แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดหม้อแปลงแต่ละขดเรียกว่า Phase voltage

V_L = แรงดันไฟฟ้าที่สายของหม้อแปลงเรียกว่า Line voltage

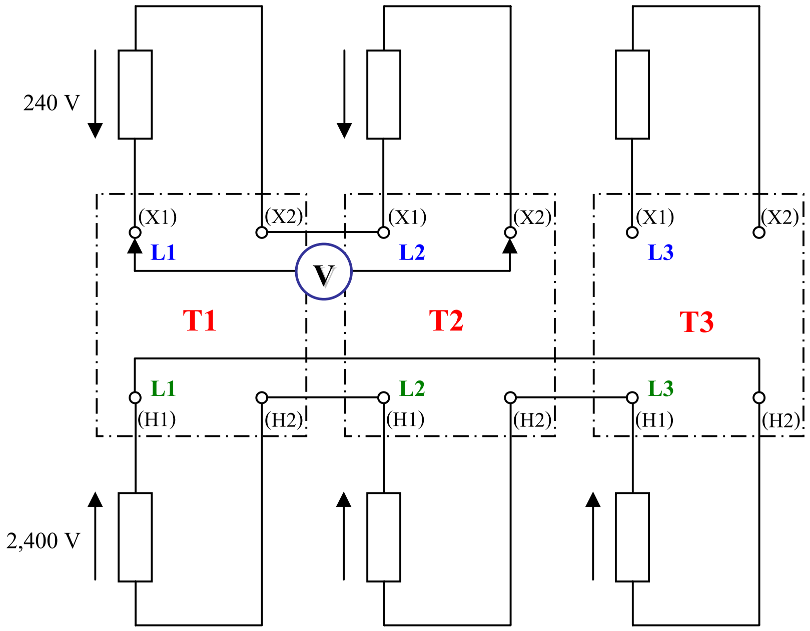
I_P = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดของหม้อแปลงแต่ละขด หรือกระแสที่ไหลในหม้อแปลงแต่ละตัวเรียกว่า Phase current

I_L = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายแต่ละสายเรียกว่า Line current

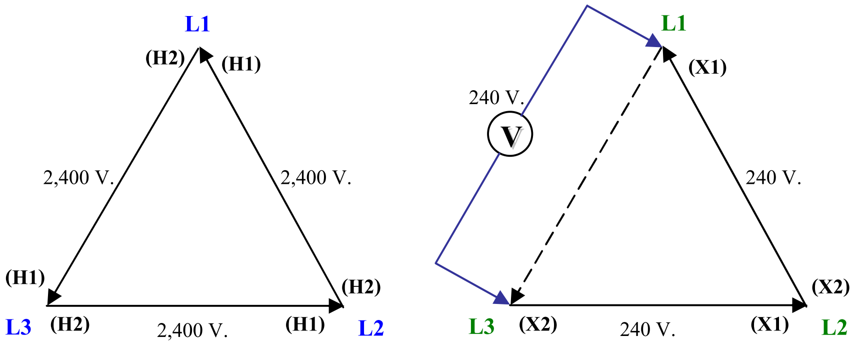
การตรวจสอบการต่อขดลวดหม้อแปลงเข้าด้วยกันเป็นแบบเดลตา เมื่อต่อขดปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 2,400 โวลต์แล้ว แม้ว่าอาจจะทราบขั้วของหม้อแปลงหรือไม่ทราบก็ตาม ลำดับขั้นตอนต่อไปนี้จะช่วยในการต่อของขดลวดทุติยภูมิ คือ

1. จะต้องทำการตรวจสอบให้ทราบเสียก่อนว่า แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลงแต่ละตัวนั้นมีค่าเท่ากับที่บอกไว้ในแผ่นป้าย (Name - plate)

2. เอาปลายของขดทุติยภูมิชุดหนึ่งต่อเข้ากับต้นของขดทุติยภูมิอีกชุดหนึ่ง ดังในรูป (ก.1) ถ้านำเอาโวลต์มิเตอร์ต่อเข้ากับปลายเปิดของขดลวดทุติยภูมิทั้งสองของหม้อแปลง แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จะมีค่าเท่ากับ 240 โวลต์ ซึ่งต้องเท่ากับค่าของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากหม้อแปลงแต่ละตัว แสดงว่าต่อขดลวดทางขดทุติยภูมิของทั้งสองถูกต้อง ผลรวมของค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้นั้นเขียนเป็นเวกเตอร์ไดอะแกรมได้ดังรูป (ข.1)



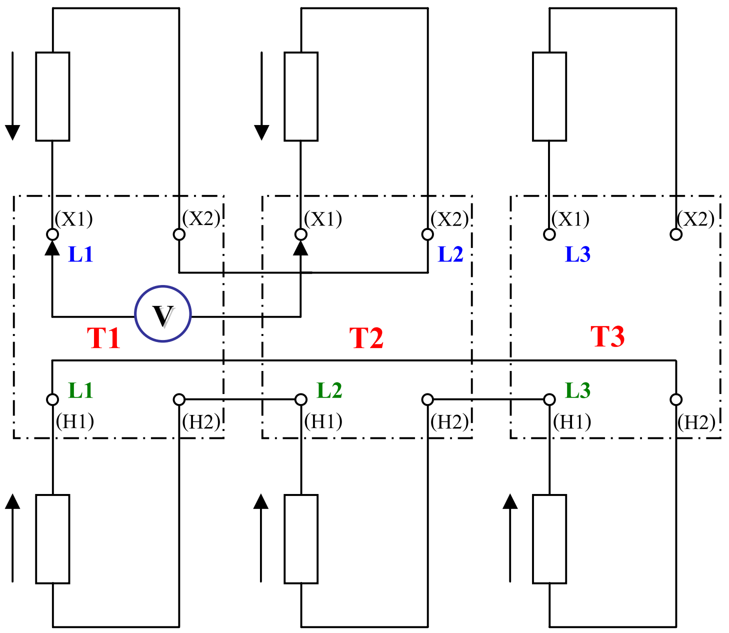
รูป (ก.1)



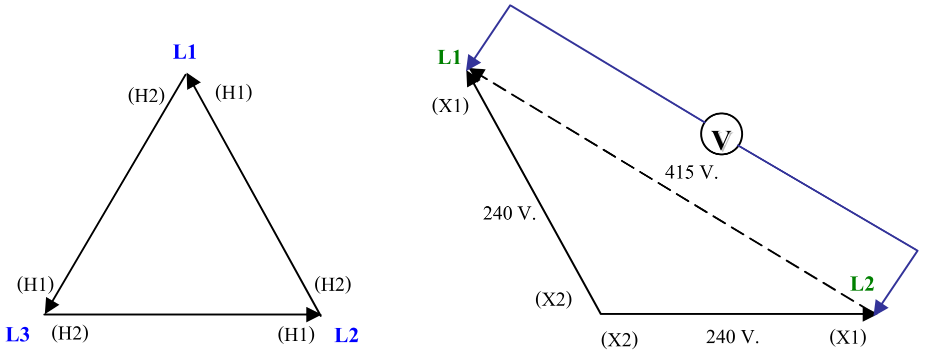
รูป (ข.1)

รูปแสดงการตรวจสอบการต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลง 2 ตัว เมื่อต่อถูกต้อง

จากรูป (ก.2) เป็นการแสดงให้เห็นว่า ถ้าต่อขดลวดด้านขดทุติยภูมิกลับขั้วจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ซึ่งต่ออยู่กับปลายเปิดของขดลวดทุติภูมิจะมีค่าเป็น $\sqrt{3}$ เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิแต่ละขด ซึ่งกรณีนี้มีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ เท่าของ 240 โวลต์ คือ $\sqrt{3 \times 240} = 415$ โวลต์ ดังเวกเตอร์ไดอะแกรมในรูป (ข.2) แสดงว่าการต่อนี้ผิด สามารถแก้ไขให้ถูกต้องได้โดยการสลับขั้วสายของขดทุติยภูมิหม้อแปลงตัวใดตัวหนึ่ง และตรวจสอบใหม่จะได้ผลดังแสดงในรูป



รูป ก.2

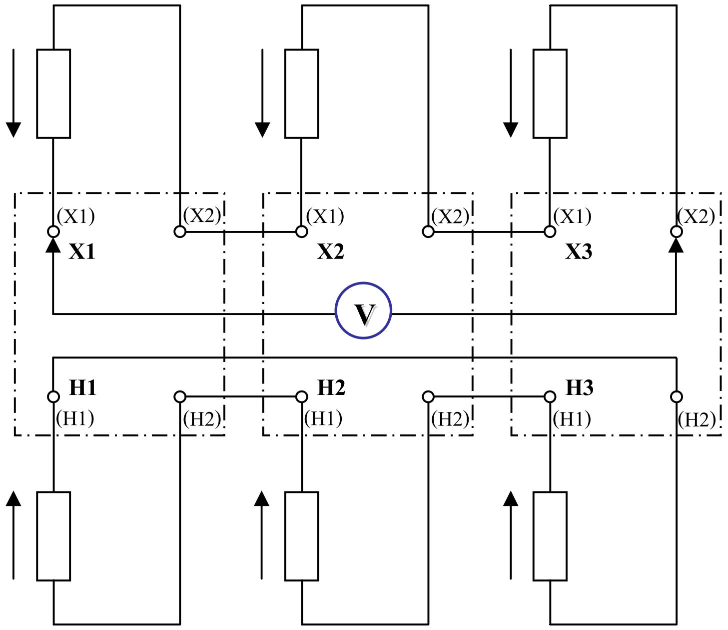


รูป ข.2

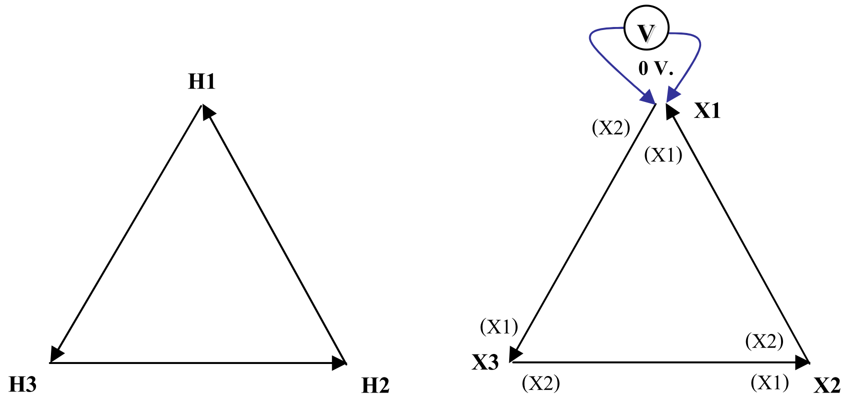
รูปแสดงการตรวจสอบการต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลง 2 ตัว เมื่อต่อผิด

3. เมื่อต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลง 2 ตัวถูกต้องแล้ว ให้นำขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 มาต่อโดยการนำปลายใดปลายหนึ่งของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 ต่อเข้าไปดังแสดงในรูป (ก.3) และใช้โวลต์มิเตอร์วัดระหว่างปลายเปิด หากโวลต์มิเตอร์อ่านได้เท่ากับ 0 โวลต์ แสดงว่า การนำขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 ที่ต่อเข้าไปนั้นถูกต้อง ซึ่งเป็นผลรวมแรงดันของเวกเตอร์ที่วัดได้ระหว่างปลายเปิดเพราะว่าผลลัพธ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละขดของขดทุติยภูมิ แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่มุมของเดลตา (ที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์) มีค่าเป็นศูนย์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าระหว่างคู่ปลายเปิดสุดท้ายเป็นศูนย์ จึงสามารถปลดโวลต์มิเตอร์ออกแล้วนำปลายสาย

ทั้งสองของหม้อแปลงต่อเข้าด้วยกันได้ ลักษณะผลรวมของแรงดันไฟฟ้าทางเวกเตอร์แสดงได้ดังรูป (ข.3) และถ้าเราวัดแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อของขดทุติยภูมิทั้ง 3 จุด จะได้แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย หรือระหว่างจุดต่อทั้ง 3 มีค่าเท่ากับ 240 โวลต์ทั้ง 3 สาย ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของทุติยภูมิ



รูปภาพ ก.3

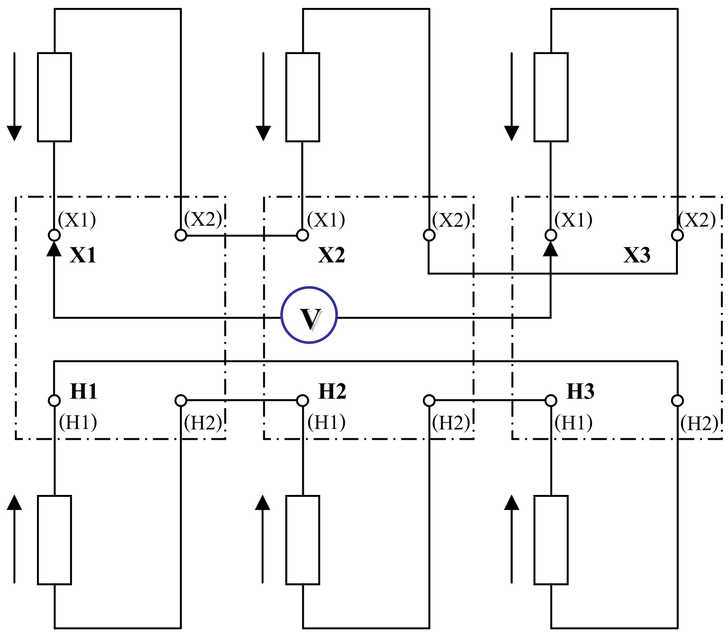


รูปภาพ ข.3

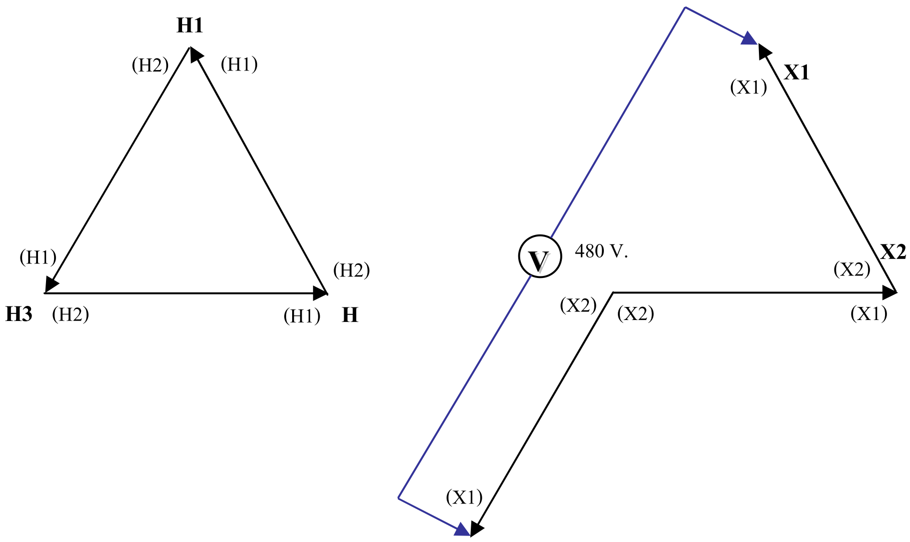
รูปการต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 เข้ากับหม้อแปลงทั้ง 2 ตัวซึ่งเป็นการต่อที่ถูกต้อง

จากรูป (ก.2) เป็นการแสดงให้เห็นว่า ถ้าต่อขดลวดทางด้านขดทุติยภูมิหม้อแปลงตัวที่ 3 กลับขั้ว จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ที่ต่ออยู่กับปลายเปิดของขดลวดทุติยภูมิมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ขดทุติยภูมิแต่ละขด ซึ่งกรณีนี้จะมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของ 240 โวลต์ คือ 2 x 240 = 480 โวลต์ แสดงว่าการนำขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 มาต่อนั้นผิด ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้แสดงได้ดังเวกเตอร์ไดอะแกรมรูป (ข.2) สามารถแก้ไขให้ถูกต้อง โดยการสลับขั้วสายของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 และทำการตรวจสอบใหม่จะต้องวัดแรงดันปลายเปิดได้เป็นศูนย์

เมื่อต่อหม้อแปลง 3 ตัวเข้าด้วยกันทั้งด้านขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิเป็นแบบเดลตาแล้ว เรียกการต่อแบบนี้ว่า การต่อแบบ $\Delta - \Delta$ (Δ - Δ Connection) สัญลักษณ์ Δ อันแรก หมายถึง การต่อขดลวดด้านขดปฐมภูมิ ส่วนสัญลักษณ์ Δ อันที่สอง หมายถึง การต่อขดลวดทางด้านขดทุติยภูมิ ซึ่งการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าในแบบ Δ - Δ นี้ อาจต่อเป็นแบบแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น หรือแปลงแรงดันไฟฟ้าลง (Step-up voltage or Step-down voltage) ก็ได้



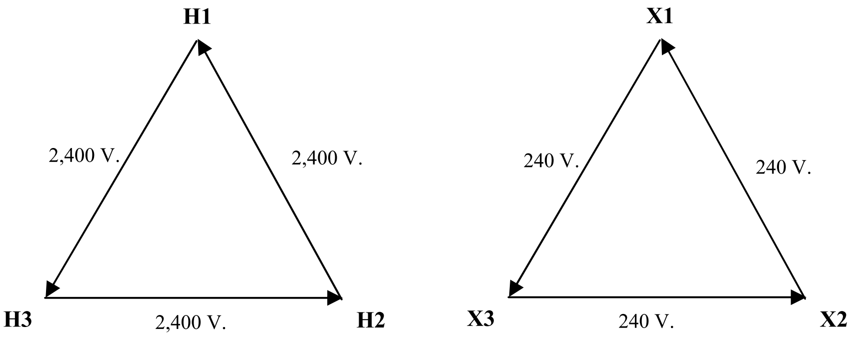
รูปภาพ ก.



รูปภาพ ข.

รูปแสดงการต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 เข้ากับหม้อแปลงทั้ง 2 เป็นการต่อที่ผิด

จากรูปแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของการต่อหม้อแปลงแบบเดลตา-เดลตา คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดแต่ละขด และแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายทั้งทางด้านขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิ



รูปแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา - เดลตา

จากรูปเป็นการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta - \Delta$ เพื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้า 2,400 โวลต์ในระบบสายเฟส 3 สาย ในแบบแปลงแรงดันไฟฟ้าลงทางด้านทุติยภูมิ 240 โวลต์ 3 เฟสเพื่อจ่ายให้กับโหลด หากโหลดประกอบด้วยมอเตอร์ 3 เฟส กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสายจะมีค่าเท่ากันหรือสมดุล (Balance) ขนาด kVA ของหม้อแปลงทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับขนาด kVA ของหม้อแปลงแต่ละตัวรวมกัน เช่น หม้อแปลง 1 ตัวมีขนาด 50 kVA เมื่อนำหม้อแปลง 3 ตัวมาต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบเดลตาจะได้ขนาด kVA เท่ากับ 50 x 3 = 150 kVA

2. การต่อแบบวาย-วาย (Wye - Wye Connection)

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าระบบ 3 เฟสในแบบวาย-วาย บางครั้งเรียกการต่อแบบนี้ว่า การต่อแบบสตาร์- สตาร์ (Star - Star Connection) ใช้สัญลักษณ์ Y - Y การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย-วาย หมายถึง ขดลวดด้านปฐมภูมิต่อเป็นแบบวาย และขดลวดด้านทุติยภูมิก็ต่อเป็นแบบวายด้วยเช่นเดียวกัน

ถ้าต้องการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสจำนวน 3 ตัวมาต่อใช้ระบบ 3 เฟส โดยมีการต่อเป็นแบบวาย-วาย สามารถต่อได้ดังแสดงในรูป

ทางด้านขดปฐมภูมิ

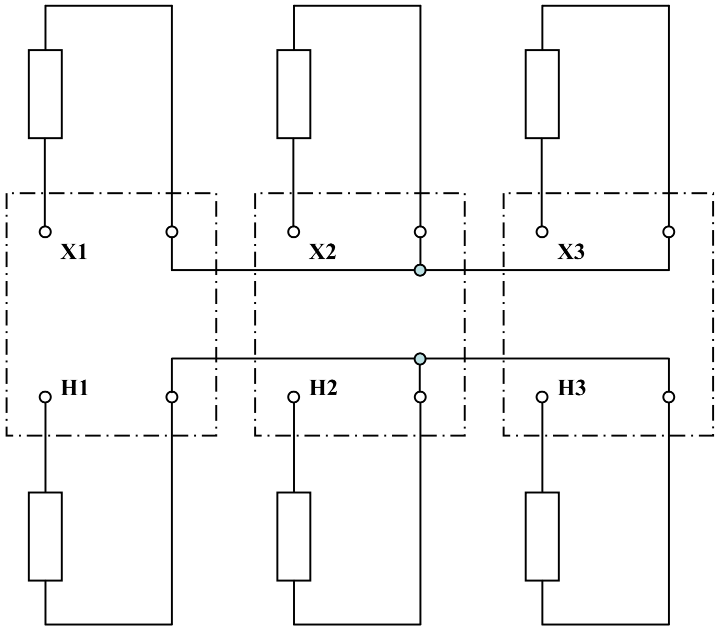
$$I_L = \sqrt{3}\ V_P$$

$$I_L = I_P$$

ทางด้านขดทุตยภูมิ

$$V_L = \sqrt{3}\ V_P$$

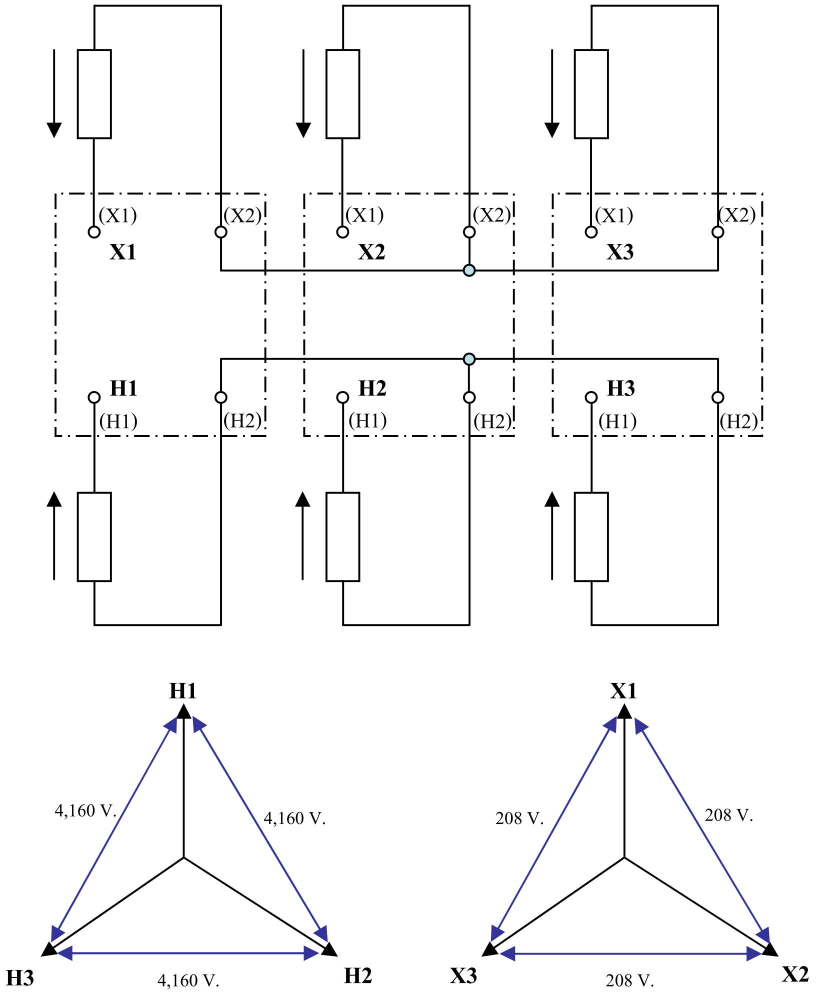
$$I_L = I_P$$



รูปการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย - วาย

จากรูปแสดงการต่อหม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัวใช้กับไฟฟ้าระบบ 3 เฟส โดยทางด้านขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิต่อเป็นแบบวาย ใช้สัญลักษณ์ Y - Y ทางด้านขดปฐมภูมิซึ่งเป็นขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูงจะแทนด้วยขั้ว H_1 และ H_2 ส่วนทางด้านขดทุติยภูมิเป็นขดลวดแรงดันไฟฟ้าต่ำแทนด้วยขั้ว X_1 และ X_2 ซึ่งสามารถทำได้โดยนำขั้ว H_2 ของหม้อแปลงตัวที่ 1 ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 มาต่อรวมเข้าด้วยกัน ส่วนขั้วที่เหลือคือ H_1 ของหม้อแปลงทั้งสามต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ส่วนทางด้านขดทุติยภูมินำขั้ว X_2 ของหม้อแปลงตัวที่ 1 ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ต่อรวมเข้าด้วยกัน ส่วนขั้วที่เหลือคือ X_1 ของหม้อแปลงทั้งสามตัว

จะเป็นเอาต์พุตทางด้านขดทุติยภูมิจ่ายให้กับโหลด



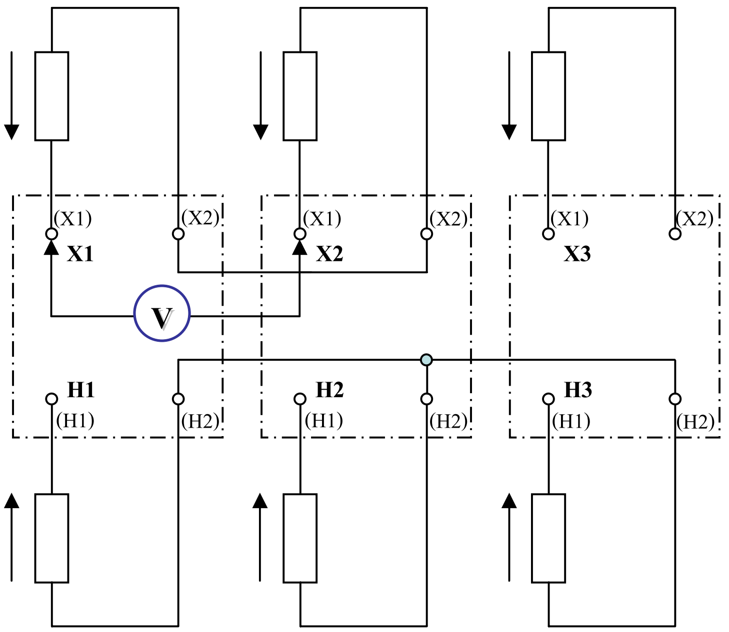
รูปแสดงวงจรของการต่อหม้อแปลงแบบวาย-วาย 4,160/208โวลต์

เมื่อต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวเป็นแบบวาย-วาย ดังรูป สามารถตรวจสอบการต่อขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกันเป็นแบบวาย โดยการตรวจสอบทางด้านขดทุติยภูมิดังนี้

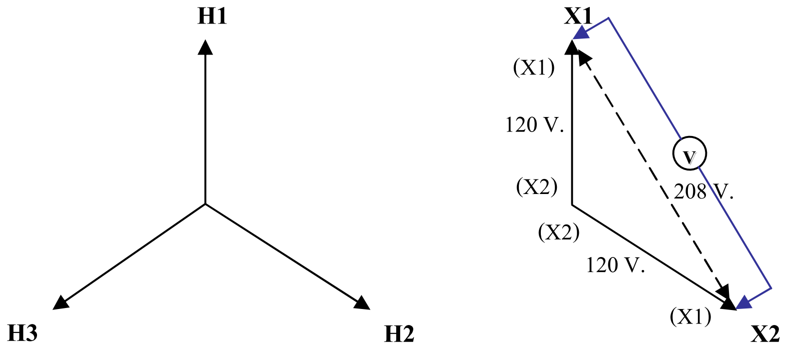
1. ต่อขดลวดทางด้านขดปฐมภูมิที่เป็นขดแรงดันไฟฟ้าสูงของหม้อแปลงเป็นแบบวาย และตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของหม้อแปลงแต่ละตัว ในกรณีนี้จะได้ 120 โวลต์

2. นำเอาปลายของขดทุติยภูมิคือ X_2 ของหม้อแปลงตัวที่ 1 ต่อเข้ากับปลายของขดทุติยภูมิ X_2 ของหม้อแปลงตัวที่ 2 ดังรูป (ก) ถ้านำเอาโวลต์มิเตอร์ต่อเข้ากับปลายเปิดคือ X_1 ของหม้อแปลงตัวที่ 1 และ X_1 ของหม้อแปลงตัวที่ 2 แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จะมีค่าเท่ากับ 208 โวลต์ คือเท่ากับ $\sqrt{3}$ เท่าของแรงดันไฟฟ้าจากขดลวดแต่ละขดของทุติยภูมิ นั่นคือ $\sqrt{3}$ เท่าของ 120 โวลต์หรือ

$\sqrt{3} \times 120 = 208$ โวลต์ แสดงว่า ต่อขดลวดทางขดทุติยภูมิของทั้งสองถูกต้อง ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้นั้น เขียนเป็นเวกเตอร์ไดอะแกรมได้ดังรูป (ข)



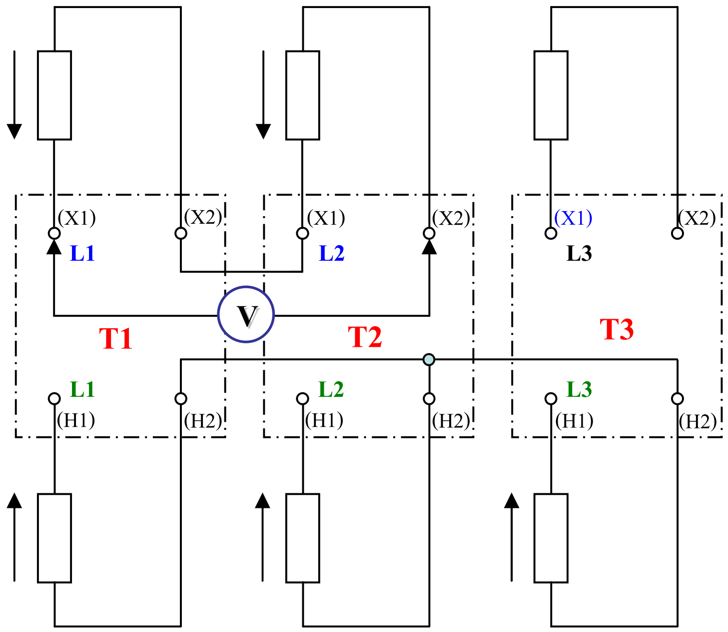
รูปภาพ ก.



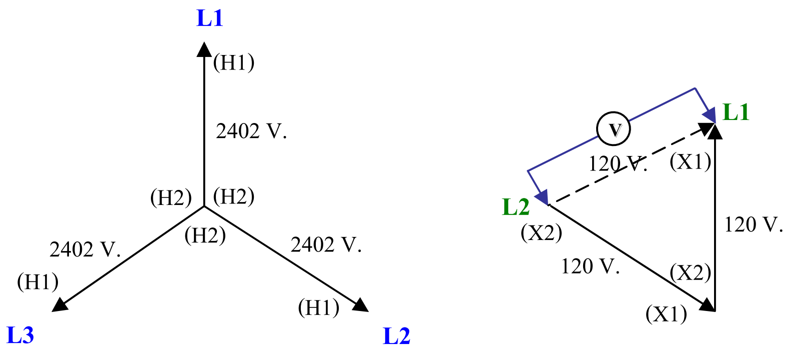
รูปภาพ ข.

รูปแสดงการตรวจสอบการต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลง 2 ตัว เมื่อต่อถูกต้อง

จากรูป (ก.2) เป็นการแสดงให้เห็นว่า ถ้าต่อขดลวดทางด้านขดทุติยภูมิกลับขั้วทำให้แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ที่ต่ออยู่กับปลายเปิดของขดทุติยภูมิ มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแต่ละตัว ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 120 โวลต์ ดังแสดงในเวกเตอร์ไดอะแกรมรูป (ข.2) แสดงว่าการต่อนี้ผิด ซึ่งสามารถแก้ไขให้ถูกต้องโดยการสลับขั้วของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 2 และตรวจสอบใหม่จะได้ผลดังรูป



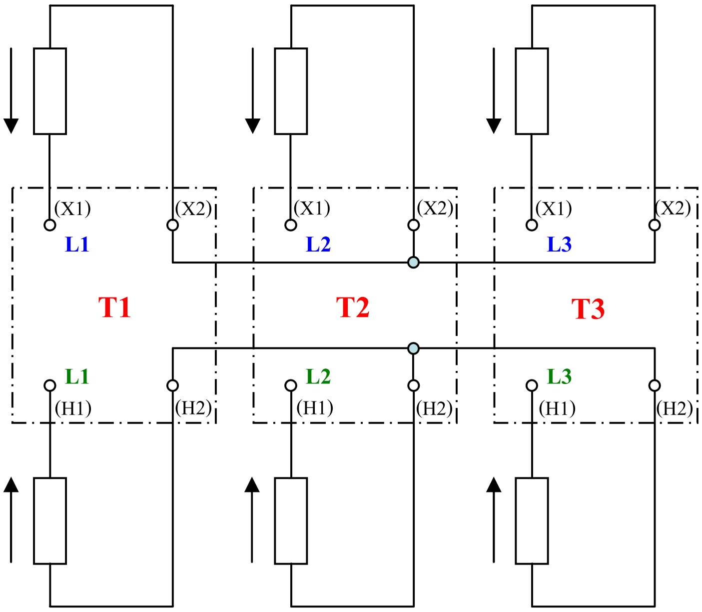
รูป ก.2



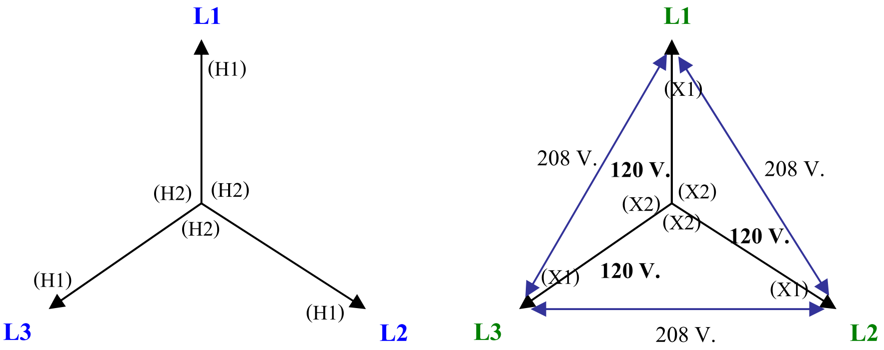
รูป ข.2

รูปแสดงการตรวจสอบขดทุติยภูมิของหม้อแปลง 2 ตัว เมื่อต่อผิด

3. เมื่อต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลง 2 ตัวถูกต้องแล้ว ให้นำขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 มาต่อ โดยการนำเอาปลายใดปลายหนึ่งของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 ต่อเข้าไปดังแสดงในรูป (ก.3) และใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างปลายสายที่เปิดอยู่ ถ้าโวลต์มิเตอร์อ่านได้เท่ากับ 208 โวลต์ แสดงว่าการนำขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 ที่ต่อเข้าไปนั้นถูกต้อง ซึ่งเป็นผลรวมของแรงดันไฟฟ้าทางเวกเตอร์ที่วัด ทั้งนี้เพราะว่าผลลัพธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุต (ที่สาย) มีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขดทุติยภูมิแต่ละขด กรณีนี้จะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ เท่าของ 120 โวลต์ หรือ $\sqrt{3 \times 120} = 208$ โวลต์ แสดงว่าการต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 เข้าไปถูกต้อง ลักษณะผลรวมของแรงดันไฟฟ้าทางเวกเตอร์แสดงได้ดังรูป (ข.3) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้เรียกว่า "แรงดันไฟฟ้าที่สาย" (Line voltage) คือ 208 โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ของหม้อแปลงแต่ละขดเรียกว่า "แรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟส" (Phase voltage) คือ 120 โวลต์



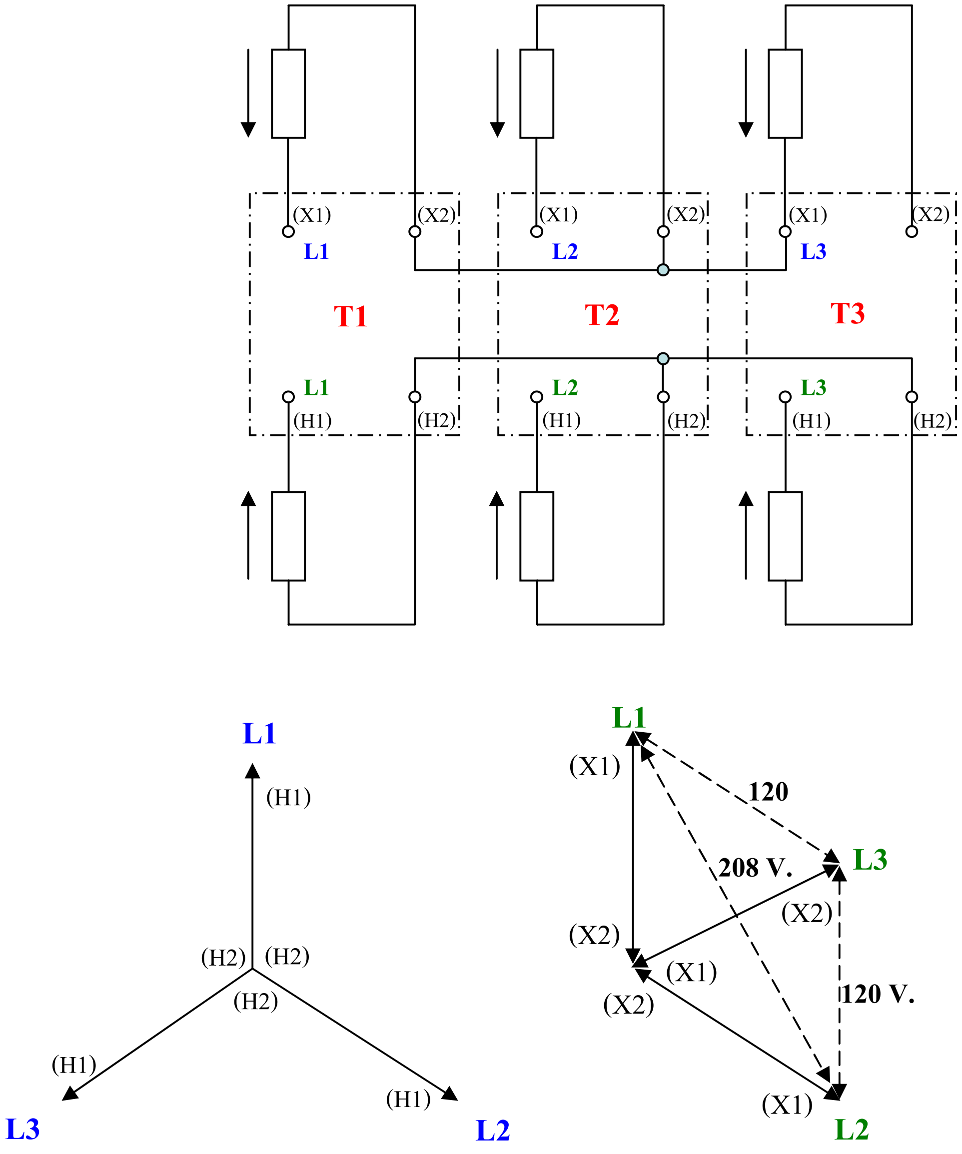
รูปภาพ ก.3



รูปภาพ ข.3

รูปแสดงการต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 เข้ากับหม้อแปลงทั้ง 2 เมื่อต่อถูกต้อง

แต่ถ้าต่อขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 เข้าไปกับขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงทั้ง 2 กลับขั้วแสดงในรูป จะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น สามารถแก้ไขโดยการสลับขั้วของหม้อแปลงตัวที่ 3 ใหม่



X1 – X2 = 208 V.

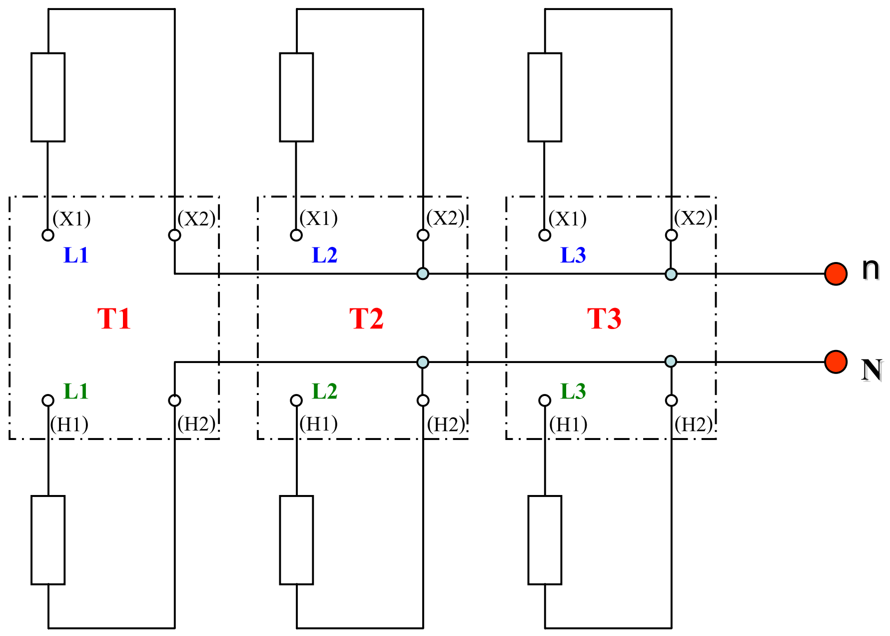
X2 – X3 = 120 V.

X3 – X1 = 120 V.

รูปแสดงการต่อขดทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวที่ 3 เข้ากับหม้อแปลงทั้ง 2 เมื่อต่อผิด

เมื่อต่อหม้อแปลงทั้ง 3 ตัวเข้าด้วยกันทั้งด้านขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิเป็นแบบวาย เรียกการต่อแบบนี้ว่า การต่อแบบ Y - Y (Y-Y connection) สัญลักษณ์ Y อันแรกหมายถึง การต่อขดลวดทางด้านปฐมภูมิ ส่วนสัญลักษณ์ Y อันที่สองหมายถึง การต่อขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

การต่อแบบวาย-วาย เมื่อด้านขดทุติยภูมิจ่ายโหลดเท่าๆ กัน ทำให้กระแสที่ไหลในแต่ละสายมีค่าเท่ากันซึ่งเรียกว่า " โหลดสมดุล " (Balance load) เช่น เมื่อหม้อแปลงจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งมีกระแสเท่ากันคือ อยู่ในสภาวะสมดุล อย่างไรก็ตามถ้าจ่ายไฟให้กับโหลดไม่สมดุล (Unbalanced load) จะทำให้กระแสที่ไหลในหม้อแปลงนั้นไม่เท่ากันทุกสายเรียกว่า " โหลดไม่สมดุล " ทำให้หม้อแปลงทำงานหนัก และแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ถ้าแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเราสามารถขจัดได้โดยใช้สายเส้นที่ 4 เรียกสายเส้นนี้ว่า " สายนิวทรัล " โดยสายนิวทรัลนี้ทำการต่อเข้าระหว่างจุดรวมของขดปฐมภูมิ และจุดรวมของขดทุติยภูมิที่ต่อเป็นแบบวาย ดังรูป



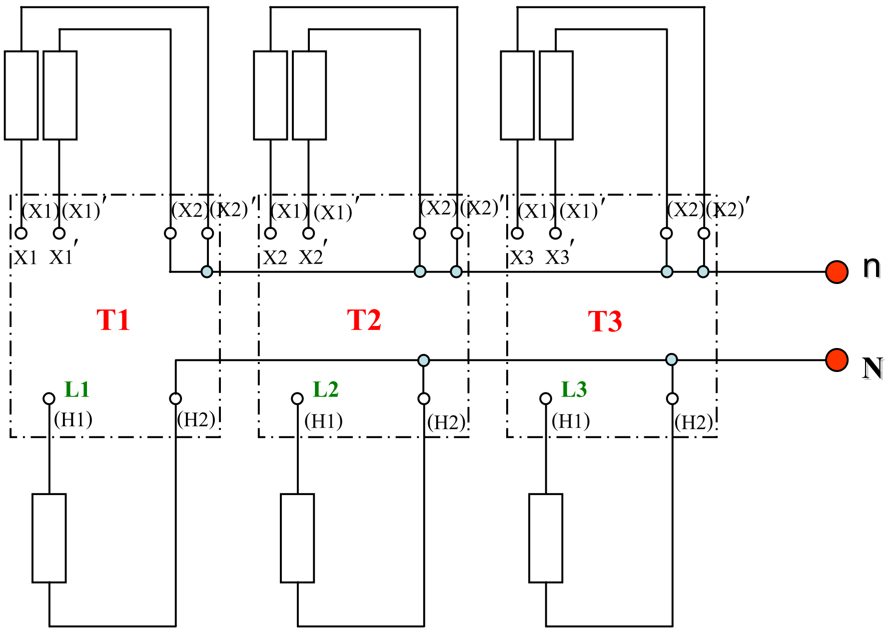
รูปแสดงการต่อหม้อแปลงแบบวาย-วาย โดยมีสายนิวทรัล

จากรูป แสดงการต่อหม้อแปลงแบบวาย-วาย ในระบบ 3 ฟส 4 สาย 2,402/4,160 โวลต์ 3 เฟส อินพุต 4 สาย และ 120/208 โวลต์ 3 เฟส เอาต์พุต 4 สาย ด้านขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นด้านอินพุต สายนิวทรัลจะต่อเข้ากับจุดรวมทั้งสามปลายคือ ขั้ว H_2 แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายนิวทรัลกับสายอื่น (Line) ทั้ง 3 สายจะมีค่า 2,400 โวลต์ ขดลวดทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง (ขดปฐมภูมิ) แต่ละขดที่ต่อระหว่างสายนิวทรัลกับปลายสายหนึ่งของปลายสายทั้ง 3 จะมีแรงดัน 2,402 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างปลาย

สายทั้งสามจะมีค่าเป็น $\sqrt{3 \times 2,402}$ โวลต์ เท่ากับ 4,160 โวลต์ สายนิวทรัลจะช่วยรักษาแรงดันไฟฟ้าระหว่างแต่ละขดลวดด้านไฟฟ้าสูงให้คงที่ถึงแม้ว่าโหลดจะไม่สมดุล โดยสายนิวทรัลจะทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าที่ไม่สมดุลระหว่างโหลดออกมาจากจุดนิวทรัล (Neutral point) ของด้านอินพุต สายนิวทรัลนี้อาจต่อลงดินก็ได้ เพื่อช่วยป้องกันขดลวดด้านแรงดันไฟฟ้าสูง เนื่องจากกรณีแรงดันเกิน(Over voltage)

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย จากขดลวดด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำของหม้อแปลงที่ต่อเข้าด้วยกันจะต่อไปยังโหลด ขดลวดทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำแต่ละขดของหม้อแปลงคือ ขดทุติยภูมิจะถูกต่อเข้าด้วยกันโดยจุดรวมจะต่อเข้ากับสายนิวทรัล แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตระหว่างสายนิวทรัลกับสายอื่นอีก 3 สาย ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดแต่ละขดจะมีค่า 120 โวลต์ ดังในรูปส่วนแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างสายจะมีค่าเป็น $\sqrt{3 \times 120}$ โวลต์ เท่ากับ 208 โวลต์ โดยจะได้ไฟฟ้าระบบ 3 เฟส 4 สายคือ ได้รับแรงดันไฟฟ้าสองขนาดสองแรงดัน คือ

1. ไฟฟ้าระบบ 3 เฟส 208 โวลต์ สำหรับโหลดในโรงงาน เช่น มอเตอร์ 3 เฟส
2. ใช้สายนิวทรัลจะได้แรงดันไฟฟ้า 120 โวลต์ สำหรับใช้กับโหลด เช่น หลอดแสงสว่าง



รูปแสดงการต่อแบบวาย-วาย เมื่อขดทุติยภูมิมีขดลวด 2 ขด

จากรูปแสดงให้เห็นการต่อหม้อแปลงแบบวาย-วาย เมื่อต่อสายนิวทรัลเข้ากับขดลวดทั้งด้านขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ หม้อแปลงนี้เป็นชนิดที่ขดทุติยภูมิมีขดลวด 2 ชุดคือ ขด 120 โวลต์ 2 ชุด เป็นขดลวดแรงดันไฟฟ้าต่ำต่อขนานเข้าด้วยกัน ซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 120 โวลต์ เมื่อใช้กับ

ระบบไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อต่อเป็นแบบวายจะได้ไฟฟ้าระบบ 3 เฟส 4 สาย ที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ระหว่างสายมีค่าเท่ากับ 208 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับโหลดที่เป็นมอเตอร์และได้แรงดันไฟฟ้า 120 โวลต์ 1 เฟสสำหรับใช้กับโหลดที่เป็นหลอดแสงสว่าง ในการต่อของโหลดที่เป็นหลอดแสงสว่างจะต่อเข้ากับเส้นใดเส้นหนึ่งกับสายนิวทรัล และควรต่อโหลดให้เท่าๆ กันทุกสายด้วย เพื่อให้เกิดความสมดุล

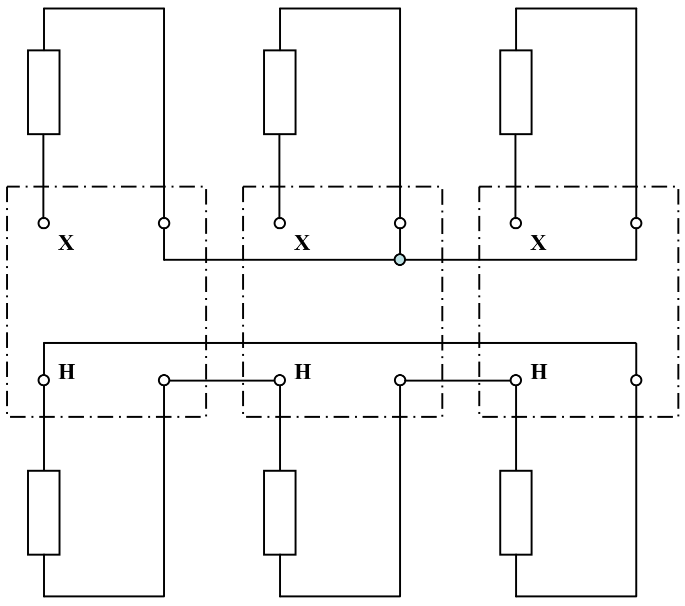
ขนาด kVA ของหม้อแปลงทั้งหมดเมื่อต่อเป็นแบบวาย-วาย จะมีค่าเท่ากับขนาด kVA ของหม้อแปลงแต่ละตัวรวมกันเช่น ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสขนาด 25 kVA จำนวน 3 ตัวมาต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบวาย-วาย จะได้ขนาด kVA ทั้งหมดเท่ากับ 25+25+25 = 75 kVA หรือ 25 x 3 = 75 kVA

ถ้าหม้อแปลงตัวใดตัวหนึ่งชำรุดต้องถอดออกไปซ่อมแซมการต่อหม้อแปลงแบบวาย-วาย ไม่สามารถต่อหม้อแปลงใหม่ด้วยการใช้หม้อแปลงเพียง 2 ตัว

3. การต่อแบบเดลตา - วาย (Delta - Wye Connection)

การต่อแบบเดลตา-วาย บางครั้งเรียกว่า การต่อแบบเดลตา-สตาร์ (Delta-Star connection) ใช้สัญลักษณ์ Δ - Y การต่อแบบนี้หมายถึง ทางด้านขดปฐมภูมิต่อเป็นแบบเดลตา ส่วนขดลวดทางด้านขดทุติยภูมิต่อเป็นแบบวายจะต่อหม้อแปลงให้เป็นชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้นหรือแปลงแรงดันไฟฟ้าลงก็ได้ การต่อหม้อแปลงแบบเดลตา-วาย แสดงได้ดังรูป

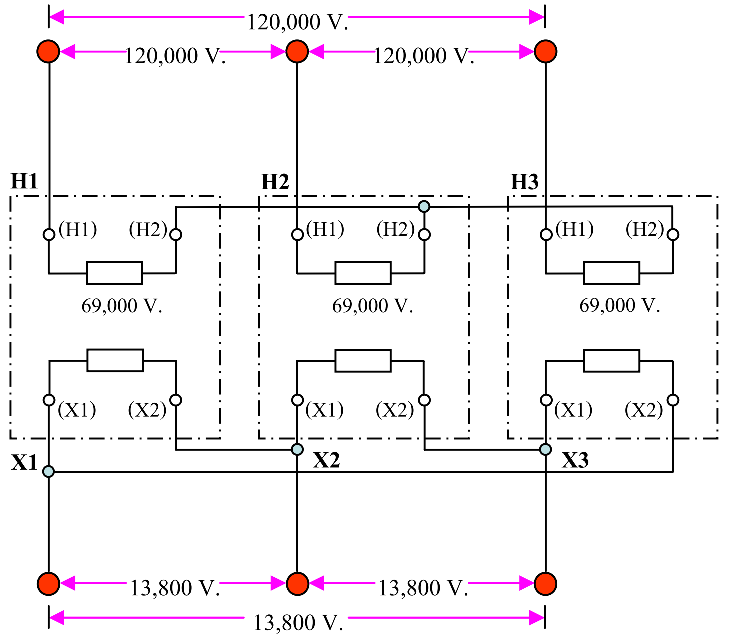
ทางด้านขดปฐมภูมิ	ทางด้านขดทุตยภูมิ
$V_L = V_P$	$V_L = \sqrt{3}\ V_P$
$I_L = \sqrt{3}\ I_P$	$I_L = I_P$



รูปการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-วาย

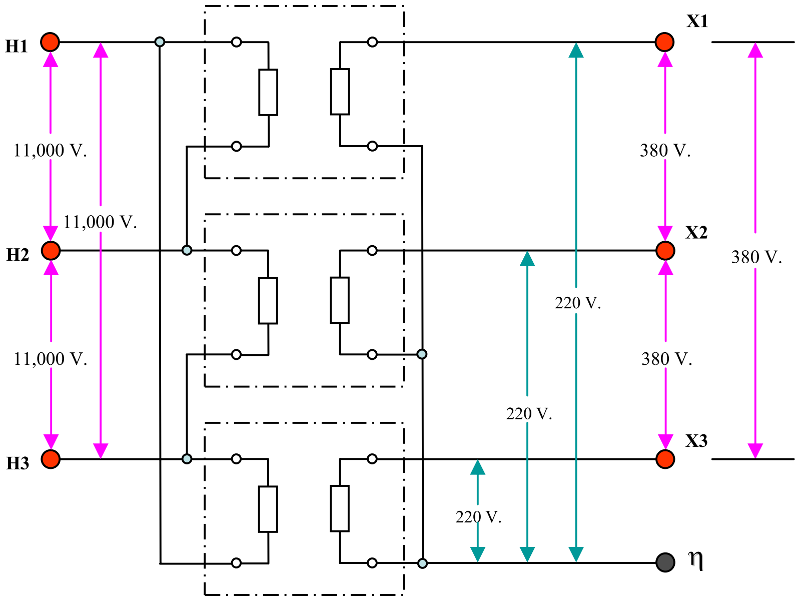
จากรูปแสดงการต่อหม้อแปลงใช้กับระบบไฟ 3 เฟส โดยมีการต่อเป็นแบบเดลตา-วาย และเป็นชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น การต่อหม้อแปลงแบบนี้เหมาะสำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (โรงต้นกำลัง) ให้มีค่าสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่รับเข้ามาทางด้านขดปฐมภูมิจะถูกทำให้สูงขึ้นโดยอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ทำให้มีค่าสูงขึ้นอีกโดยตัวประกอบ $\sqrt{3}$ แรงดันไฟฟ้าสูงที่จ่ายออกทางด้านขดทุติยภูมิที่มีการต่อเป็นแบบวายจะถูกต่อเข้ากับสายส่งไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งสายส่งนี้จะส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังตัวเมือง หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ห่างจากโรงต้นกำลังหลายร้อยกิโลเมตร ส่วนอีกเหตุผลหนึ่งที่ใช้การต่อหม้อแปลงเป็นแบบเดลตา-วาย ก็คือ ทำให้ฉนวนที่ใช้ในขดทุติยภูมิลดลง ผลดีที่จะเกิดขึ้นคือ เฉพาะแรงดันไฟฟ้าสูงที่ใช้ในด้านทุติยภูมิ ควรจำไว้ว่า แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดมีค่าเพียง 58% ของแรงดันไฟฟ้าที่สาย

จากรูปเป็นรูปแสดงการต่อหม้อแปลงที่ใช้งานจริงคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับบัสบาร์ของโรงต้นกำลังในระบบ 3 เฟส 13,800 โวลต์ ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง 1 เฟสทั้ง 3 ตัวที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 13,800 โวลต์ และขดปฐมภูมิต่อรวมเข้าด้วยกันเป็นแบบเดลตา แล้วต่อเข้ากับบัสบาร์ของโรงต้นกำลัง เพราะว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวด และที่สายในการต่อแบบเดลตาจะมีค่าเท่ากัน แรงดันไฟฟ้าที่ขดปฐมภูมิแต่ละขดจึงได้รับแรงดันไฟฟ้า 13,800 โวลต์ จากรูปเป็นหม้อแปลงชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นมีอัตราส่วน 1:5 ดังนั้นทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตทางด้านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแต่ละตัวเป็น 5x13,800 โวลต์เท่ากับ 69,000 โวลต์ และขดทุติยภูมิทั้งสามของหม้อแปลงต่อเป็นแบบวาย ขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นขดทุติยภูมิ เมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายนิวทรัลกับสายใดสายหนึ่งของสายทั้ง 3 แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิคือ 69,000 โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ระหว่างสายกับสาย (Line to Line) ทั้ง 3 มีค่าเป็น $\sqrt{3 \text{ x } 69{,}000}$ โวลต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120,000 โวลต์



รูปแสดงการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-วาย สำหรับงานจริง

หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสที่มีการต่อเป็นแบบเดลตา-วาย เมื่อต่อเป็นชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง สำหรับผู้บริโภค เช่น เมื่อมีความจำเป็นต้องแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 11,000 โวลต์ให้ลดต่ำลงสำหรับใช้งานเป็น 220/380 โวลต์ในระบบ 3 เฟส 4 สายเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าของสำนักงานเช่น หลอดแสงสว่าง เครื่องใช้สำนักงาน



รูปแสดงการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-วาย เพื่อใช้งาน

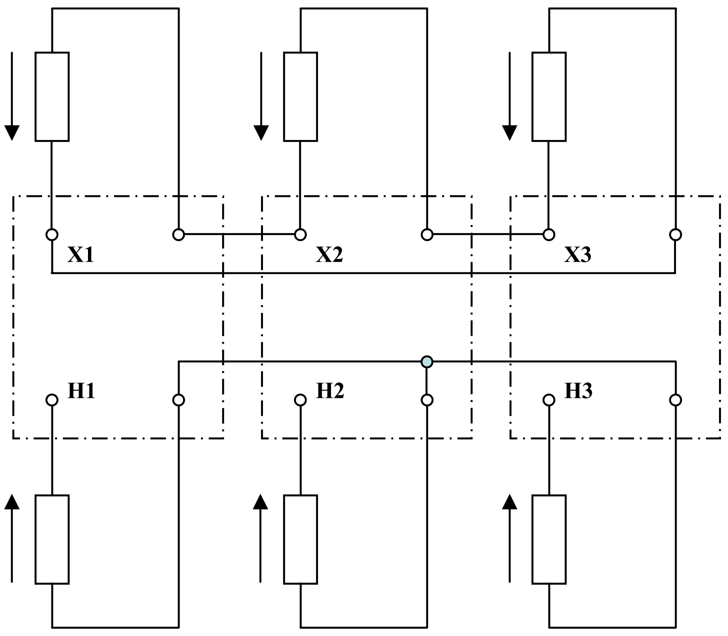
จากรูปแสดงถึงการต่อหม้อแปลงแบบเดลตา-วาย เพื่อใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วๆ ไป โดยขดปฐมภูมิของหม้อแปลงต่อเป็นแบบเดลตาใช้กับไฟ 3 เฟส 11,000 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ขดปฐมภูมิแต่ละขดคือ 11,000 โวลต์ ถ้าหม้อแปลงมีอัตราส่วน 50:1 ซึ่งเป็นชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลดลง ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าทางด้านขดทุติยภูมิแต่ละขดมีค่า 11,000/50 = 220 โวลต์ นั่นคือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละขดจะมีค่าเท่ากับ 220 โวลต์

ถ้าด้านขดทุติยภูมิต่อเป็นแบบวาย แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายนิวทรัลและสายเส้นอื่นๆ ทั้ง 3 สาย มีค่า 220 โวลต์ แต่แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายกับสายจะมีค่าเป็น $\sqrt{3} \times 220$ โวลต์เท่ากับ 380 โวลต์ ซึ่งการต่อแบบนี้จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสองขนาดแรงดันคือ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และ 380 โวลต์ ในระบบ 3 เฟส 4 สาย สามารถนำไปใช้กับแสงสว่าง และระบบไฟฟ้ากำลัง

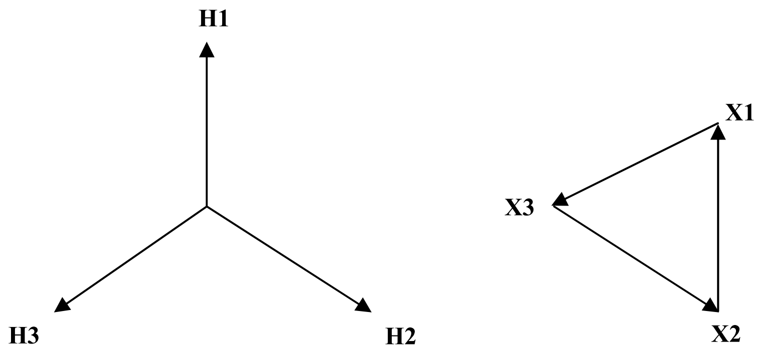
ซึ่งในปัจจุบันตามสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไปใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ สำหรับหลอดแสงสว่าง และเครื่องใช้สำนักงาน ส่วนแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์จะใช้สำหรับโหลด เช่น มอเตอร์ เครื่องปรับอากาศ

4. การต่อแบบวาย - เดลตา (Wye - Delta Connection)

การต่อแบบวาย-เดลตา บางครั้งอาจเรียกว่า การต่อแบบสตาร์-เดลตา (Star-Delta Connection) ใช้สัญลักษณ์ Y - Δ การต่อแบบนี้หมายถึง ทางด้านขดปฐมภูมิต่อเป็นแบบวาย ส่วนขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อเป็นแบบเดลตา การต่อหม้อแปลงเพื่อใช้กับระบบไฟ 3 เฟสแบบนี้จะนิยมต่อเป็นชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลง การต่อหม้อแปลงแบบวาย - เดลตา แสดงได้ดังรูป



รูปภาพ ก.



รูปภาพ ข.

รูปแสดงการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – เดลตา

การต่อหม้อแปลงแบบวาย - เดลตา จะมี 2 ประการ คือ

1. แรงดันไฟฟ้า 3 เฟสลดลง โดยอัตราส่วนของหม้อแปลงคูณด้วย $\sqrt{3}$

2. ฉนวนของขดลวดด้านแรงดันไฟฟ้าสูงจะลดลง เพราะว่าแรงดันไฟฟ้าจริงที่ขดลวดปฐมภูมิมีค่าเพียง 58% ของแรงดันไฟฟ้าจากสายทางด้านปฐมภูมิ

การต่อหม้อแปลงแบบวาย - เดลตา จะได้ผลดังนี้

ทางด้านขดปฐมภูมิ

$$V_L = \sqrt{3}\, V_P$$

$$I_L = I_P$$

ทางด้านขดทุตยภูมิ

$$V_L = V_P$$

$$I_L = \sqrt{3}\, I_P$$

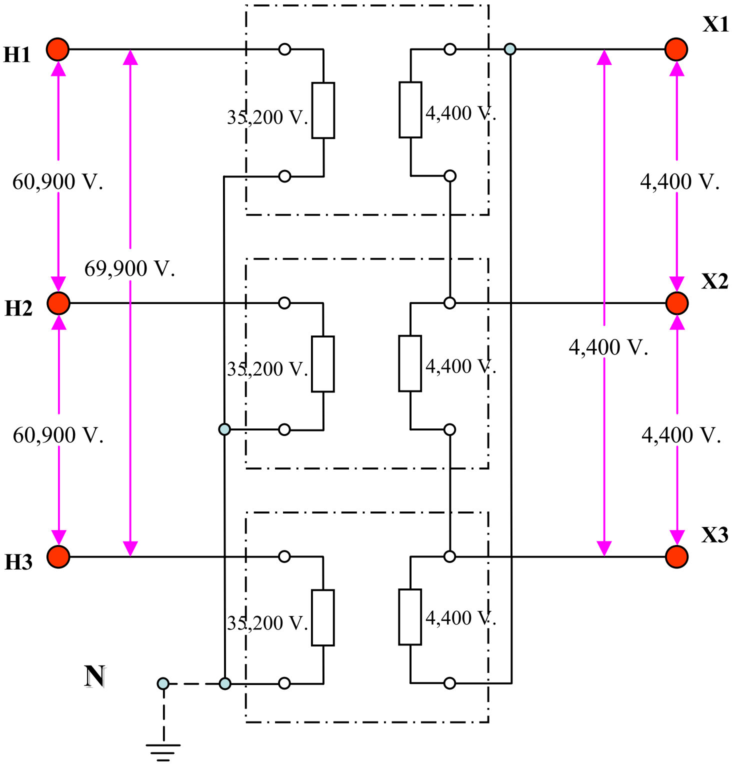
จากรูปแสดงวงจรการต่อหม้อแปลงแบบวาย-เดลตา โดยด้านขดปฐมภูมิต่อเข้ากับสายส่งไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย หม้อแปลงเป็นชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าลงจาก 60,900 โวลต์ 3 เฟสเป็น 4,400 โวลต์ 3 เฟส ด้วยการใช้หม้อแปลง 1 เฟสจำนวน 3 ตัวมาต่อ แต่ละตัวมีขนาด 1,000 kVA 35,200 โวลต์ด้านแรงดันไฟฟ้าสูงและ 4,400 โวลต์ สำหรับด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ หม้อแปลงนี้มีอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้า 8:1 ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่สายของด้านปฐมภูมิเป็น 60,900 โวลต์ 3 เฟส และด้านปฐมภูมิเป็นขดแรงดันไฟฟ้าสูงต่อเป็นแบบวาย

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ขดลวดด้านปฐมภูมิจะมีค่าดังนี้

$$\text{แรงดันไฟฟ้าที่ขดปฐมภูมิ} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิ}}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{60,900}{\sqrt{3}}$$

$= 35,200$ โวลต์



รูปแสดงการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย - เดลตา เพื่อใช้งาน

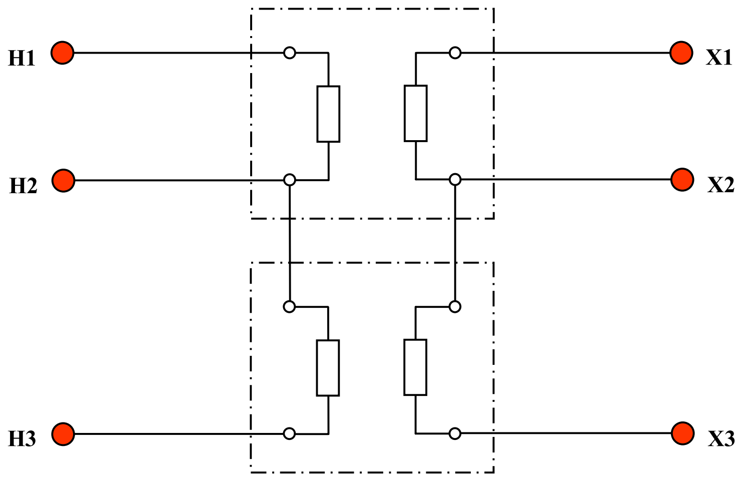
แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของหม้อแปลงคือ 8:1 ดังนั้นจะได้แรงดันไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิมีค่าเป็น 35,200 / 8 เท่ากับ 4,400 โวลต์

ด้านแรงดันไฟฟ้าสูงซึ่งเป็นทางด้านปฐมภูมิใช้สายนิวทรัล จะทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส เกิดการสมดุล ถึงแม้ว่า กระแสที่ไหลในวงจรโหลดจะไม่สมดุล สายนิวทรัลจะต่อลงกราวด์ และยังสามารถป้องกันกระแสทะลัก (Surge current)

ขนาด kVA ของหม้อแปลง เมื่อนำมาต่อใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟสไม่ว่าจะต่อในแบบเดลตา-วาย หรือ วาย-เดลตาก็ตาม การคิดขนาด kVA ยังคงคิดเช่นเดียวกันคือ นำเอาขนาด kVA ของหม้อแปลง 1 เฟสแต่ละตัวมารวมเข้าด้วยกัน

5. การต่อแบบโอเพนเดลตา (Open - Delta Connection)

การต่อหม้อแปลงแบบโอเพนเดลตาบางครั้งเรียกว่า การต่อแบบวี - วี (Vee-Vee Connection) ใช้สัญลักษณ์ V - V การต่อแบบนี้หมายถึง ทางด้านขดปฐมภูมิต่อเป็นแบบวี และทางด้านขดทุติยภูมิก็ต่อเป็นแบบวีเช่นเดียวกัน การต่อแบบนี้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเพียง 2 ตัวเท่านั้น การต่อแบบโอเพนเดลตามักใช้ในกรณีฉุกเฉินเมื่อหม้อแปลงตัวหนึ่งที่มีการต่อเป็นแบบเดลตา-เดลตาชำรุด ในเวลาเดียวกันก็ยังมีความจำเป็นที่ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปลดหม้อแปลงตัวที่ชำรุดออกไปซ่อมแซมได้ และยังมีหม้อแปลงเหลือเพียง 2 ตัวอยู่กับไฟฟ้าระบบ 3 เฟส ทำให้การต่อหม้อแปลงแบบเดลตา-เดลตากลายเป็นการต่อแบบโอเพนเดลตา การต่อแบบโอเพนเดลตาแสดงได้ดังรูป



รูปแสดงการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบโอเพนเดลตา

บทที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

3.1 แผงจ่ายไฟฟ้าประธาน (Main Distribution Board)

แผงจ่ายไฟฟ้าประธาน (Main Distribution Board) หรือเรียกโดยทั่วไปว่า MDB หมายถึง อุปกรณ์หลักที่ใช้สำหรับตัดต่อวงจรที่อยู่ระหว่างสายเมนเข้าอาคารกับสายภายในอาคาร ซึ่งอย่างน้อยประกอบด้วยเบรกเกอร์ หรือสวิตช์พร้อมฟิวส์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตัดต่อวงจรสายภายในอาคารทั้งหมดออกจากระบบในกรณีเกิดไฟฟ้าลัดวงจร หรือการใช้กระแสไฟฟ้าเกิน

สายเมน หรือสายเมนเข้าอาคาร (Service Conductor) หมายถึง สายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ กับเมนสวิตช์ หรือระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้ากับเมนสวิตช์

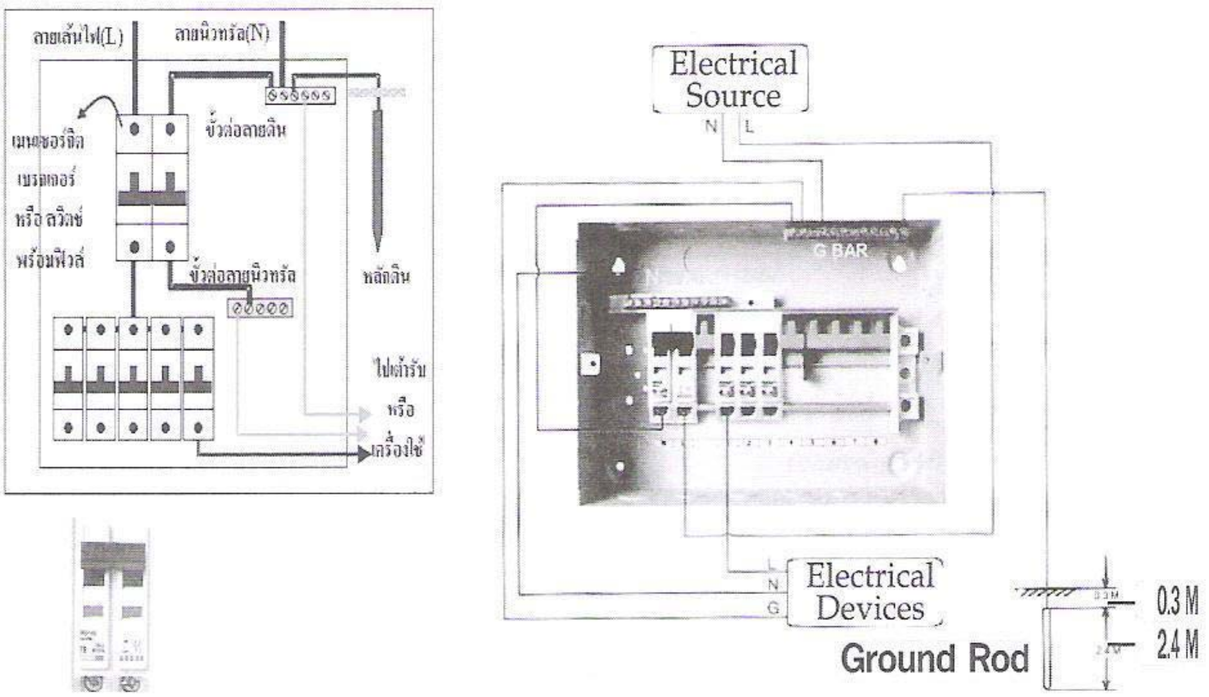
3.1.1 เมนสวิตช์ (Main Switch)

เมนสวิตช์ (Main Switch) เป็นสวิตช์ที่ทำหน้าที่ปลดสายภายในอาคารทั้งหมดออกจากระบบจ่ายไฟ โหลดของสายเมน และเมนสวิตช์คำนวณเช่นเดียวกับสายป้อน ถ้าวงจรไฟฟ้าเป็นวงจรขนาดเล็กมีสายป้อนเพียงชุดเดียว โหลดที่คำนวณได้สำหรับสายป้อนก็คือ โหลดของเมนสวิตช์นั่นเอง แต่ถ้าในวงจรมีสายป้อนหลายชุด การคำนวณโหลดของเมนสวิตช์ก็คือ รวมโหลดทั้งหมดทุกสายป้อนเข้าด้วยกันและใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ ตารางเดียวกับการคำนวณสายป้อน

รูปแสดงแผงจ่ายไฟฟ้าประธาน MDB

เมนสวิตช์ (Main Switch) ประกอบด้วย เครื่องปลดวงจร (Disconnecting Means) และเครื่องป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protective Device) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเมนสวิตช์แรงต่ำ มีรายละเอียดดังนี้

1. เมนสวิตช์แรงต่ำ เมนสวิตช์แรงต่ำระบบ 3 เฟสที่สายนิวทรัลมีการต่อลงดินโดยตรงขนาดตั้งแต่ 1,000 แอมแปร์ขึ้นไปต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดิน (Ground Fault Protection) เมนสวิตช์ประกอบด้วยเครื่องปลดวงจร และเครื่องป้องกันกระแสเกิน มีรายละเอียดดังนี้



รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ภายในแผงเมนสวิตช์

1.1 เครื่องปลดวงจร มีรายละเอียด และข้อกำหนดการติดตั้งดังนี้

ก. เครื่องปลดวงจรชนิด 1 เฟส ที่มีขนาดตั้งแต่ 50 แอมแปร์ขึ้นไป และชนิด 3 เฟส ทุกขนาดต้องเป็นชนิดที่ปลด หรือ สับได้ขณะที่มีโหลด (Load – Break)

ข. เครื่องปลดวงจรต้องสามารถปลดวงจรทุกสายเส้นไฟได้พร้อมกัน และต้องมีเครื่องหมายแสดงให้เห็นว่า อยู่ในตำแหน่งปลดหรือสับ หากตำแหน่งที่ปลดหรือสับนั้นสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนก็ไม่ต้องมีเครื่องหมายก็ได้

ค. เครื่องปลดวงจรต้องมีพิกัดไม่ต่ำกว่าพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินขนาดมากที่สุดที่ใส่ หรือปรับตั้งได้

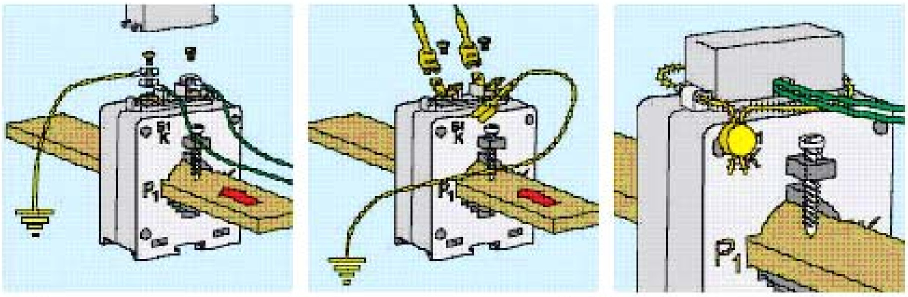
ง. ห้ามต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้าเข้าของเครื่องปลดวงจร นอกจากจะเป็นการต่อเข้าเครื่องวัด คาปาซิเตอร์ สัญญาณต่างๆ อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ วงจรระบบไฟฉุกเฉิน ระบบเตือนหรือป้องกันอัคคีภัย ระบบป้องกันกระแสรั่วลงดิน หรือเพื่อใช้ในวงจรควบคุมของเมนสวิตช์ที่ต้องมีไฟเมื่อเครื่องปลดวงจรอยู่ในตำแหน่งปลด

จ. ต้องจัดให้มีที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานที่เครื่องปลดวงจรได้อย่างพอเพียง

1.2 สายเส้นไฟทุกเส้นที่ต่อออกจากเครื่องปลดวงจรของเมนสวิตช์ ต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินในสายนิวทรัลปลดวงจร แต่สายเส้นไฟที่ยังต่ออยู่จะยังคงมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในวงจร โดยผู้ใช้งานไม่ทราบอาจเกิดอันตรายได้เนื่องจากขาดความระมัดระวังโดยคิดว่าไม่มีกระแสไฟ แต่ถ้าเครื่องป้องกันกระแสเกินที่เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งตัดวงจรทุกสายของวงจรออกพร้อมกันเมื่อกระแสเกินยอมให้ติดตั้งในสายนิวทรัลได้ และเครื่องป้องกันกระแสเกินต้องสามารถตัดกระแสลัดวงจรค่ามากที่สุดที่อาจเกิดขึ้นที่จุดต่อไฟด้านไฟออกของเครื่องป้องกันกระแสเกินได้ และต้องไม่ต่ำกว่า 10 กิโลแอมแปร์

3.2 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

หม้อแปลงกระแสเป็นหม้อแปลงเครื่องมือวัดสำหรับใช้ต่อเข้ากับแอมมิเตอร์ หม้อแปลงกระแสจะเป็นหม้อแปลงชนิดลดกระแสลงอย่างเป็นอัตราส่วน ซึ่งมีการต่อดังแสดงในรูป

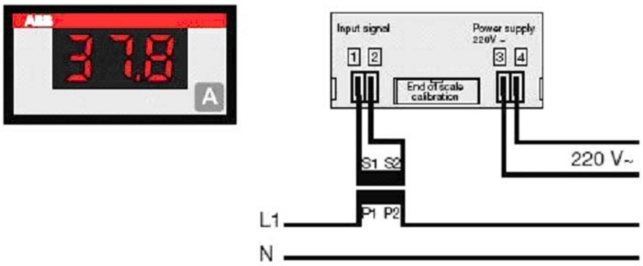


รูปแสดงการต่อแบบหม้อแปลงไฟฟ้ากระแส

หม้อแปลงกระแสนี้ขดปฐมภูมิจะต่ออนุกรมเข้ากับสายไฟสายหนึ่ง ซึ่งขดปฐมภูมิประกอบด้วยจำนวนรอบเพียงเล็กน้อยและมีลวดขนาดใหญ่พันบนแกนเหล็ก ขดลวดทุติยภูมิประกอบด้วยจำนวนรอบที่มากกว่า แต่ลวดมีขนาดเล็กกว่าขดปฐมภูมิ โดยพันอยู่บนแกนเหล็กอันเดียวกับขดปฐมภูมิ กระแสสูงสุดที่รับได้ของขดปฐมภูมิจะมีค่าสูงสุดเท่ากับกระแสที่ไหลในสายไฟฟ้า ส่วนกระแสสูงสุดด้านขดทุติยภูมิจะมีค่าประมาณ 5 แอมแปร์ โดยไม่คำนึงถึงกระแสสูงสุดของขดปฐมภูมิเช่น กระแส

สูงสุดขดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสเป็น 100 แอมแปร์ โดยขดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสมีจำนวนรอบ 3 รอบ และขดทุติยภูมิมีจำนวนรอบ 60 รอบ ขดลวดทุติยภูมิจะมีกระแสมาตรฐานสูงสุด 5 แอมแปร์ ดังนั้นอัตราส่วนของกระแสระหว่างขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิจะเป็น 100/5 หรือ 20:1 โดยกระแสที่ขดปฐมภูมิจะมีค่าเป็น 20 เท่าของกระแสที่ขดทุติยภูมิ

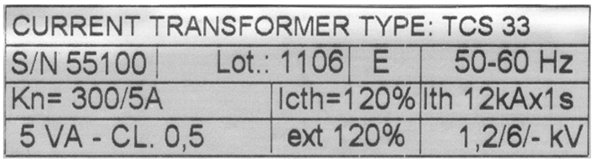
หมายเหตุ : ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกระแสในขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมินั้น เป็นปฏิภาคส่วนกลับกัน



รูปแสดงการวัดกระแสโดยการใช้หม้อแปลงกระแส

จากรูปแสดงการวัดกระแสโดยใช้หม้อแปลงกระแส ซึ่งเป็นแบบลดกระแสลง (Step-down current) ของแหล่งจ่ายไฟแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส 4,800 โวลต์ โดยหม้อแปลงกระแสขนาด 100:5 แอมแปร์ ดังนั้นอัตราส่วนของกระแสที่ลดลงจึงเป็น 20:1 หมายถึง ถ้ากระแสที่ไหลในขดปฐมภูมิมีค่า 20 แอมแปร์ ทำให้กระแสไหลในขดทุติยภูมิ 1 แอมแปร์ ถ้าแอมมิเตอร์ที่ต่ออยู่กับขดทุติยภูมิอ่านค่าได้ 4 แอมแปร์ ค่ากระแสที่ไหลในขดปฐมภูมิจะมีค่าเป็น 20 เท่าของ 4 แอมแปร์มีค่าเท่ากับ 20 x 4 แอมแปร์ หรือ 80 แอมแปร์ ขดทุติยภูมิด้านหนึ่งต่อลงกราวด์ เพื่อเป็นการลดอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าสูง

รูปแสดงลักษณะของหม้อแปลงกระแส



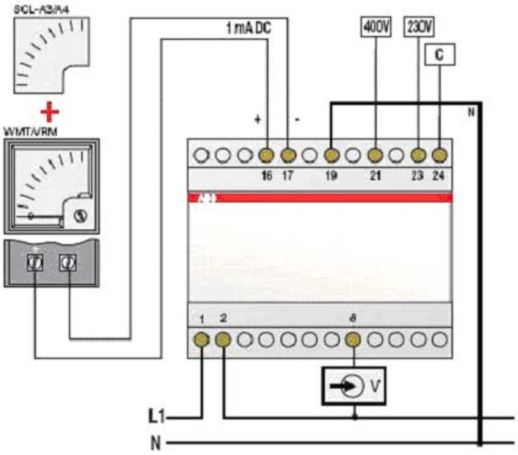
CURRENT TRANSFORMER TYPE: TCS 33		
S/N 55100	Lot.: 1106 E	50-60 Hz
Kn= 300/5A	Icth=120%	Ith 12kAx1s
5 VA - CL. 0,5	ext 120%	1,2/6/- kV

รูปแสดงตัวอย่างแผ่นป้ายของหม้อแปลงกระแส

วงจรทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสจะไม่อยู่ในลักษณะวงจรเปิด เมื่อมีกระแสไหลในขดปฐมภูมิ แต่ไม่มีกระแสไหลในขดทุติยภูมิ จึงไม่เกิดแรงดันแม่เหล็กขึ้นที่ขดทุติยภูมิ ภายใต้สภาวะนี้กระแสที่ไหลในขดปฐมภูมิจะกลายเป็นกระแสกระตุ้น ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กต้านกับแรงดันแม่เหล็กด้านทุติยภูมิ ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ขดปฐมภูมิเป็นต้นเหตุให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดทุติยภูมิ ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้มีค่าสูงพอที่จะทำให้เกิดอันตรายได้ บางครั้งอาจมีความจำเป็นต้องเปิดวงจรของเครื่องมือวัดออก เมื่อทางด้านขดปฐมภูมิมีกระแสไหลอยู่เช่น มีความจำเป็นที่ต้องปลดมิเตอร์ออกจากวงจรเพื่อนำไปซ่อมเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เมื่อต้องการปลดแอมมิเตอร์ออกให้ใช้สวิตช์ต่อไว้ เพื่อลัดวงจรของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส โดยทำให้สวิตช์ปิดวงจร (ลัดวงจร) ก่อนแล้วจึงปลดเครื่องมือวัดออกไป

หม้อแปลงกระแสทั่วไปจะบอกอัตราส่วนของกระแสระหว่างขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของหม้อแปลงกระแสจะน้อยกว่า 0.5%

จากรูปข้างล่างเป็นการต่อหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส เพื่อใช้กับเครื่องมือวัดคือ โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ และวัตต์มิเตอร์ สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟส 4,800 โวลต์ โดยใช้หม้อแปลงแรงดันขนาดอัตราส่วน 4,800/120 โวลต์ ส่วนหม้อแปลงกระแสมีอัตราส่วน 50/5 แอมแปร์



รูปแสดงการต่อหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสใช้งานกับวัตต์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์ และขดลวดแรงดัน (Potential coil) ของวัตต์มิเตอร์จะต่อคร่อมเข้ากับทางด้านเอาต์พุตของหม้อแปลงแรงดันซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าต่อคร่อมขดลวดแรงดันของวัตต์มิเตอร์จึงมีค่าเท่ากัน แอมมิเตอร์และขดลวดกระแส (Current coil) ของวัตต์มิเตอร์ต่ออนุกรมกัน แล้วต่อคร่อมเข้ากับด้านเอาต์พุตของทุติยภูมิหม้อแปลงกระแส ผลลัพธ์ของกระแสในขดลวดกระแสของเครื่องวัดทั้งสองมีค่าเท่ากัน

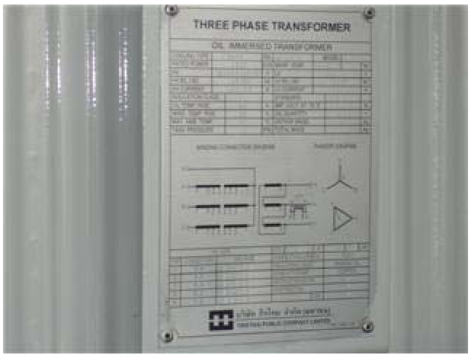
เมื่อต่อขดปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสเข้ากับแหล่งจ่ายแล้ว ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงทั้งสองด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับขั้วลวดกระแสของวัตต์มิเตอร์ และขั้วขดลวดแรงดันที่มีสัญลักษณ์ ± เหมือนกัน ส่วนขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดันอีกขั้วหนึ่งจะต่อเข้ากับขดลวดแรงดันของวัตต์มิเตอร์ที่มีสัญลักษณ์ V และขดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสอีกขั้วหนึ่งจะต่ออนุกรมเข้ากับแอมมิเตอร์ก่อน แล้วจึงต่อเข้ากับขดลวดกระแสของวัตต์มิเตอร์ที่มีสัญลักษณ์ A ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงทั้งสองที่ต่อเข้ากับขดลวดแรงดัน และขดลวดกระแสของวัตต์มิเตอร์ต้องต่อลงกราวด์ด้วย เพื่อเป็นการลดอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าสูง

3.3 หม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer)

หม้อแปลงนี้มีการทำงานเช่นเดียวกับหม้อแปลงกำลัง (Power transformer) หรือหม้อแปลงระบบจำหน่าย (Distribution transformer) แต่หม้อแปลงแรงดันจะมีขนาดเล็กใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้าสูงๆ เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสำหรับใช้กับโวลต์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ วัตต์ฮาวร์มิเตอร์ (Watthour meters) การต่อหม้อแปลงแรงดัน ขดแรงดันไฟฟ้าสูงซึ่งเป็นขดปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันจะเท่ากับขนาดแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายที่ต้องการวัด สมมุติว่าต้องการวัดแรงดันไฟฟ้า 1 เฟสที่มีขนาดแรงดัน 4,800 โวลต์ ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันต้องมีขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 4,800 โวลต์ ขดแรงดันไฟฟ้าต่ำซึ่งเป็นขดทุติยภูมิมีขนาดแรงดันสูงสุด 120 โวลต์ อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 4,800/120 = 40/1 โวลต์ มิเตอร์ที่ตกคร่อมเข้ากับขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดันที่อ่านได้จะมีค่า 120 โวลต์ ดังรูปเมื่อโวลต์มิเตอร์อ่านค่าได้ 120 โวลต์ ค่าที่อ่านได้จะต้องคูณด้วยอัตราส่วนของแรงดันคือ 40 จะมีค่า 120 x 40 = 4,800 โวลต์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่แท้จริงจะมีค่าเท่ากับ 4,800 โวลต์

หม้อแปลงแรงดันมีความเที่ยงตรงมาก และมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5% จากรูปเป็นการแสดงลักษณะของหม้อแปลงแรงดันจะมีปลอกหรือฉนวนขนาดใหญ่ 2 อัน เพื่อใช้ต่อเข้ากับขดแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นขดทุติยภูมิ หม้อแปลงชนิดนี้เป็นชนิดใช้ภายนอกอาคาร ซึ่งขดปฐมภูมิอาจต่อเข้าระหว่างสายไฟฟ้ากับสายไฟฟ้า หรือสายไฟฟ้ากับนิวทรัล จากรูปแสดงให้เห็นตัวอย่างของแผ่นป้ายของหม้อแปลงแรงดัน

รูปแสดงหม้อแปลงแรงดันชนิดใช้ภายนอกอาคาร



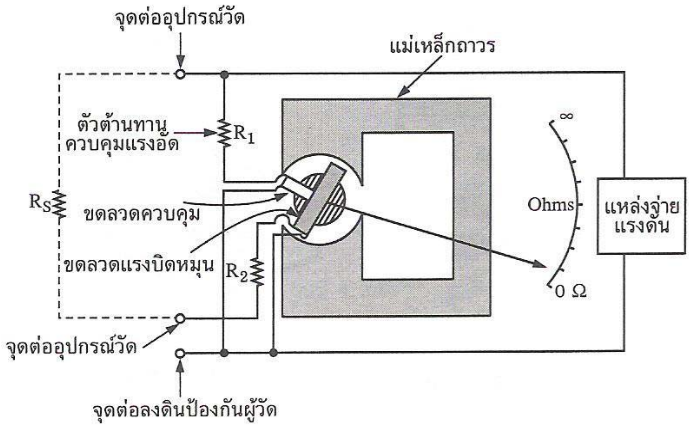
รูปตัวอย่างของแผ่นป้ายของแปลงแรงดัน

3.4 เครื่องมือวัดค่าความต้านทานฉนวน (Megga Ohm Meter)

เมกะโอห์มมิเตอร์ (Mega Ohm Meter) เป็นเครื่องมือวัดความต้านทานที่มีค่าสูงมากๆ เช่น ฉนวนไฟฟ้า ความต้านทานของสายเคเบิล ความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น เมกะโอห์มมิเตอร์ใช้หลักการเดียวกันกับโอห์มมิเตอร์อนุกรม เนื่องจากใช้วัดความต้านทานสูงๆ จึงต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันสูงเป็นลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟตรงแบบหมุนด้วยมือ เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายในมีแรงดันระหว่าง 100–500V เมื่อจะใช้วัดความต้านทานภายนอกให้ต่อความต้านทานภายนอกที่จุดวัดของเมกกะโอห์มมิเตอร์ และใช้มือหมุน จนกระทั่งเข็มชี้หยุดนิ่งจึงอ่านค่าความต้านทานได้

รูปแสดงลักษณะภายนอกของเมกะโอห์มมิเตอร์

สำหรับวงจรภายในของเมกะโอห์มมิเตอร์ประกอบด้วย เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่แม่เหล็กถาวร โดยขดลวดเคลื่อนที่มีความต้านทาน R_2 ต่ออยู่ เพื่อควบคุมการบ่ายเบนของเข็มชี้ และขดลวดหน่วงมีความต้านทาน R_1 ต่ออนุกรมอยู่ เพื่อควบคุมการหยุดและการแกว่งของเข็มชี้ จุดต่อความต้านทานภายนอก (R_x) แรงดันสูงที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมือหมุนจะตกคร่อม $R_x + R_2$ การบ่ายเบนของเข็มชี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างค่าของ R_1 และ $R_x + R_2$ ซึ่งสเกลของเมกะโอห์มมิเตอร์ปรับแต่งให้ตรงกับค่าของ R_x



รูปแสดงหลักการทำงานภายในเมกะโอห์มมิเตอร์

เมื่อความต้านทาน R_x เปิดวงจร และทำการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ภายในเมกะโอห์มมิเตอร์จะไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ เข็มชี้จะชี้ที่ค่าอนันต์ (∞) และเมื่อลัดวงจรความต้านทาน R_x จะมีกระแสจำนวนมากไหลเข้าสู่ขดลวดเคลื่อนที่ เข็มชี้จะชี้ไปที่ตำแหน่ง 0 Ω จะเห็นว่า ในกรณีนี้ขดลวด

หน่วงและ R_1 จะไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้าต่อความต้านทาน R_x แล้ว มีผลให้เข็มชี้ที่กึ่งกลางของสเกล แสดงว่า กระแสที่ผ่านขดลวดเคลื่อนที่และขดลวดหน่วง มีผลให้เกิดแรงบังคับให้เข็มชี้บ่ายเบนค้างที่ค่าครึ่งสเกล แสดงว่า $R_x + R_2 = R_1$ หรือ $R_x = R_1 - R_2$ ดังนั้นค่าความต้านทานบนสเกลจึงมีค่าเท่ากับ $R_1 - R_2$ ดังรูปเมกะโอห์มมิเตอร์มีย่านวัดความต้านทานตั้งแต่ 0 Ω - 500 MΩ เมื่อเลือกย่านวัดเมกะโอห์มมิเตอร์ (MEG–OHM) และมีย่านวัด 0-200 Ω ที่เลือกย่านวัดโอห์ม (OHM)

ปัจจุบันเมกะโอห์มได้ปรับปรุงโครงสร้างภายในในส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงซึ่งมีขนาดใหญ่และใช้งานยุ่งยากให้ดีขึ้น โดยใช้แบตเตอรี่ร่วมกับวงจรกำเนิดแรงดันไฟตรงแรงดันสูงที่ใช้วงจรทวีแรงดัน (Votage Multiplier Circuits) สามารถสร้างแรงดันสูงได้หลายสิบเท่าจากแรงดันของแบตเตอรี่ เช่น เมกะโอห์มมิเตอร์ดิจิตอลที่แสดงในรูป (ก) สามารถวัดได้ 4 ย่านวัด คือ ย่านวัด 200 Ω ที่แรงดัน 250V , ย่านวัด 200 MΩ ที่แรงดัน 500V และย่านวัด 2,000 MΩ ที่แรงดัน 1,000V มีค่าความเที่ยงตรง $\pm$ 1% ที่ย่านต่ำสุด และมีค่าความเที่ยงตรง $\pm$ 3.5% ของย่านวัดสูงสุด เป็นต้น หรือเมกะโอห์มมิเตอร์แบบเข็มใช้แบตเตอรี่ดังรูป (ข) มีย่านวัดความต้านทาน 0 – 100 MΩ ด้วยแรงดันทดสอบ 500V มีค่าความเที่ยงตรง $\pm$ 5% ที่ย่าน 10 MΩ และค่าความเที่ยงตรง $\pm$ 10% ที่ย่านวัดต่ำกว่า 10 MΩ เป็นต้น

รูปภาพ ก. ชนิดดิจิตอล

รูปภาพ ข. ชนิดอะนาลอก

รูปแสดงเมกะโอห์มมิเตอร์ทั้ง 2 แบบ

เทคนิคในการทดสอบฉนวนไฟฟ้า

ในการตรวจวัดฉนวนไฟฟ้าเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ควรปฏิบัติตามคำแนะนำต่อไปนี้

1. ปลดวงจร หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าออกให้หมด เช่น วงจรขับมอเตอร์ , PLC เพราะแรงดันที่ทดสอบที่สูงกว่าปกติ สามารถทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นเสียหายได้

2. เลือกแรงดันทดสอบที่เหมาะสมกับฉนวนแต่ละชนิดคือ จะไม่ทดสอบด้วยแรงดันสูงเกินความจำเป็น โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 2 เท่าของแรงดันที่ใช้งานปกติ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้แรงดันปกติ 460 – 600 V ก็มักใช้ทดสอบที่ 1,000 V

3. ในเครื่องวัดฉนวนไฟฟ้ารุ่นใหม่จะมีระบบคายประจุไฟฟ้าในตัว ซึ่งสามารถต่อสายวัดทิ้งเอาไว้หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบ เพื่อคายประจุไฟฟ้าเสียก่อน

4. ตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กันจะมีค่าความจุไฟฟ้าเกิดขึ้น มักจะมีผลให้ค่าความต้านทานฉนวนที่วัดได้ตอนเริ่มต้นมีค่าต่ำ และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนคงที่ ลักษณะเช่นนี้ถือว่าปกติ แต่หากผลการวัดขึ้นๆ ลงๆ ไม่คงที่ แสดงว่าเกิดอาการอาร์ก

5. ถึงแม้กระแสที่ไหลผ่านฉนวนจะจำกัดไว้ต่ำมาก แต่เครื่องวัดฉนวนไฟฟ้าก็อาจก่อให้เกิดการสปาร์กของไฟฟ้า และเป็นอันตรายกับผู้ใช้งานได้ถึงแม้ไม่มากก็ตาม อาจนำไปสู่อันตรายและความเสียหายที่มากกว่าได้ ดังนั้นจึงควรปฏิบัติงานในระบบที่ปิดการทำงาน และตัดไฟฟ้าออกให้หมดก่อน อีกทั้งต้องปฏิบัติงานด้วยจิตสำนึกแห่งความปลอดภัยเสมอ

3.5 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า หรือ วัตต์ฮาวร์มิเตอร์ (Watt Hour Meter)

เครื่องวัดงานไฟฟ้า หรือเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณพลังงานทางไฟฟ้ามีชื่อเรียกว่า Kilowatt–Hour Meter คือ วัดค่าของกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กำหนด หน่วยของการวัดเรียกว่า ยูนิต เพราะว่า 1 ยูนิต (Unit) = 1 kWh

ดังนั้น 1 ยูนิต = 1 P.t

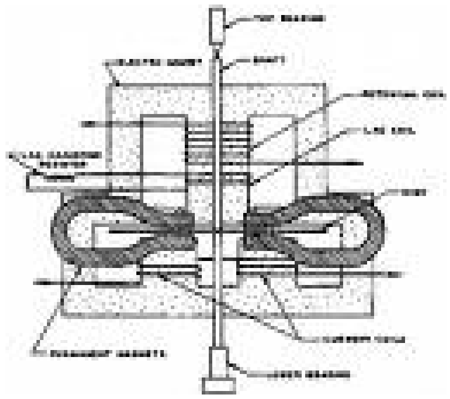
เมื่อ P คือ วัตต์ และ t คือ ชั่วโมง

เครื่องวัดงานไฟฟ้ามีหลายชนิด เนื่องจากมีโครงสร้างภายใน และหลักการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องวัดงานไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลติก ใช้วัดงานไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น และเครื่องวัดงานไฟฟ้าแบบมอเตอร์ (Motor Meter) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

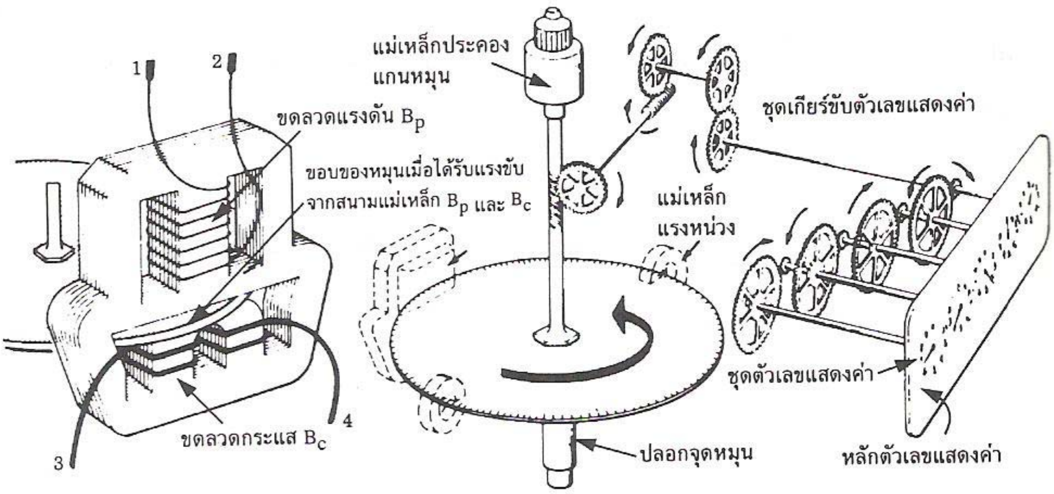
- แบบเมอร์คิวมอเตอร์ วัดได้เฉพาะงานไฟฟ้าในวงจรไฟตรงเท่านั้น
- แบบเหนี่ยวนำ วัดได้เฉพาะวงจรไฟฟ้าสลับเท่านั้น
- แบบคอมมิวเตเตอร์มอเตอร์ วัดได้ทั้งวงจรไฟตรง และไฟสลับ

สำหรับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่นิยมใช้ เพื่อวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ จะใช้เครื่องวัดงานไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ดังรูป (ก) (ข) และ (ค)

รูป ก ลักษณะภายนอกของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า



รูป ข ส่วนประกอบของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า



รูป ค โครงสร้างภายในของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

รูปเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าชนิด 1 เฟส

3.5.1 ส่วนประกอบ การทำงาน และการอ่านค่า

3.5.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ดังรูป (ข) เฉพาะส่วนสำคัญมีดังนี้

1. ฝาครอบหน้าทำด้วยกระจกใสหรือพลาสติกใสที่ทนความร้อนสูง และกันน้ำได้

2. ชุดบอกปริมาณพลังงานไฟฟ้าคือ ชุดแสดงผลค่า kWh ของงานไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด อาจแสดงผลด้วยเข็มชี้หรือตัวเลข ซึ่งแสดงผลได้ตั้งแต่ 4 - 6 หลัก โดยหลักต่ำสุดคือหลักหน่วย

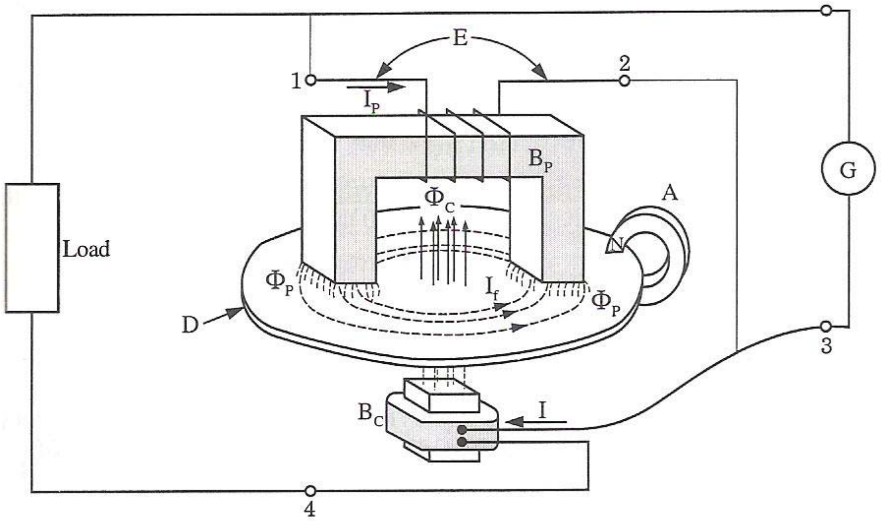
3. จานหมุนเพลาและแบริ่ง จานหมุนจะยึดติดกับเพลาซึ่งด้านบนยึดกับตัวรองรับแม่เหล็ก และด้านล่างยึดด้วยแบริ่ง จานหมุนจะหมุนไปตามสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากชุดแม่เหล็ก และมีเฟืองต่อจากเพลาไปหมุนชุดบอกปริมาณงานไฟฟ้า เพื่อแสดงผลค่า kWh ที่วัดได้

4. ชุดแม่เหล็กจะมีแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ชุด เกิดจากขดลวดกระแสไฟฟ้า 1 ชุด และจากขดลวดแรงดันไฟฟ้า 1 ชุด เมื่อพิจารณาจากรูป (ค) ขดลวดกระแสไฟฟ้าคือ ขั้ว 1-2 และขดลวดแรงดัน คือ ขั้ว 3-4 ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่เกิดเพื่อบังคับให้จานหมุนไปได้ จะเป็นผลจากค่าแรงดันและกระแสโหลดที่ผ่านขดลวดทั้งสองโดยตรง

5. ฝาครอบหลัง ทำด้วยวัสดุพลาสติกหรือเอบีเอส เป็นฉนวนที่ดีเยี่ยม กันน้ำได้และทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง

3.5.1.2 การทำงานของเครื่องวัดงานไฟฟ้า

จากรูปเป็นวงจรการต่อเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากับโหลด โดยต่อขดลวดแรงดันไฟฟ้าขั้วที่ 1–2 ขนานกับโหลดเพื่อวัดแรงดันคร่อมโหลด เป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กส่วนแรก (Φ_P) แปรผันโดยตรงกับแรงดันคร่อมโหลดและต่อขดลวดกระแสไฟฟ้าขั้วที่ 3-4 อนุกรมกับโหลด เป็นผลให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กส่วนที่สอง (Φ_C) แปรผันโดยตรงกับกระแสผ่านโหลด เมื่อ Φ_P และ Φ_C ผ่านจานหมุนจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (I_f) ไหลอยู่บนจานหมุน ทำให้เกิดทอร์กหมุนจานในทิศทางเดียวกับกระแสไหลวน ซึ่งความเร็วของจานหมุนขึ้นอยู่กับผลคูณของแรงดันโหลดและกระแสโหลด อย่างไรก็ตามหากความเร็วของจานหมุนเร็วกว่าปกติสามารถบังคับให้ช้าลง ด้วยการใช้แม่เหล็กถาวรเบรก (Breaking Magnet) คือ แม่เหล็ก A ในรูป



รูปแสดงวงจรแสดงการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

3.5.1.3 การอ่านค่างานไฟฟ้า

เนื่องจากการหมุนของจานหมุนแต่ละรอบ แปรผันโดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าของโหลด และเพลาของจานหมุนจะต่อไปยังเกียร์ที่ขับชุดบอกค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า ซึ่งค่าของจำนวนรอบการหมุนของจานหมุน เพื่อให้ได้ค่างานไฟฟ้าเท่ากับ 1 Wh เรียกว่า ค่าคงที่ของเครื่องวัดงานไฟฟ้า (Proportional Factor) ดังสมการ

$$K = \frac{\text{จำนวนรอบการหมุน}}{\text{วัตต์ - ชั่วโมง}}$$

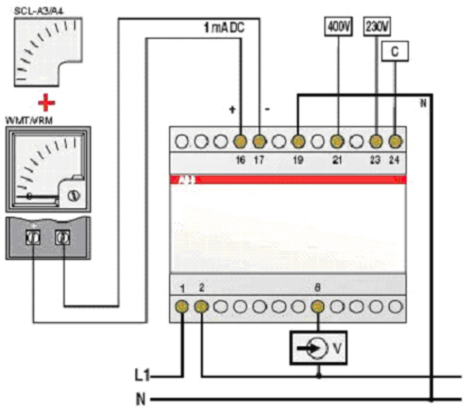
$$= \frac{N}{Wh}$$

ค่าของงานไฟฟ้า (W) มีหน่วยเป็นยูนิต ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ยูนิต = 1 kWh

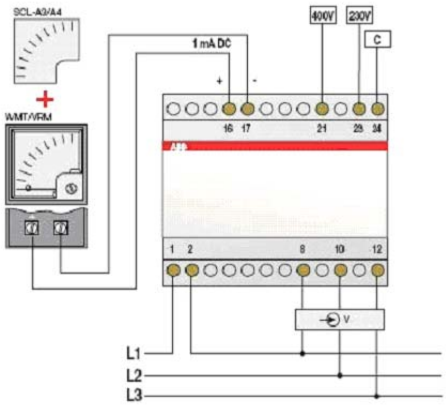
หน่วยยูนิต คือ หน่วยที่ใช้ในการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระเงินตามตัวเลขยูนิตการใช้งานไฟฟ้าตามที่การไฟฟ้าฯ กำหนด เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะมีมาตรฐานการทนค่ากระแสไฟฟ้าเกินพิกัดของขดลวดกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าพิกัด 25–40% โดยไม่เกิดอันตรายขึ้นกับขดลวดกระแสไฟฟ้า และค่าความเที่ยงตรงในการวัดยังคงเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าของพิกัดเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า เช่น เครื่องวัดงานไฟฟ้า 1 เฟสพิกัด 5 (15)A หมายความว่า เป็นเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้สูงถึง 15A โดยไม่เป็นอันตราย ทั้งที่เครื่องวัดมีพิกัดเพียง 5 A เท่านั้นหรือ เครื่องวัดพิกัด 15 (45)A หมายความว่าเป็นเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าพิกัด 15 A ยอมให้กระแสเกินพิกัดได้ถึง 45 A โดยขดลวดกระแสไม่เกิดอันตราย

3.5.2 การต่อเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

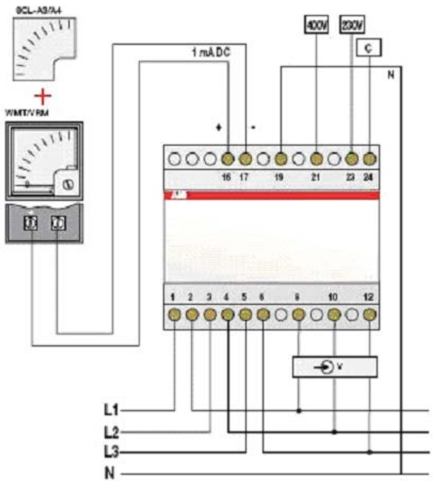
การต่อเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 1 เฟสและ 3 เฟส มีวงจรการต่อเครื่องวัดงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส 2 สายจะมีจานหมุนสำหรับขับชุดบอกปริมาณไฟฟ้าเพียงจานเดียวต่อวงจรดังรูป (ก) และเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 3 สายจะมีจานหมุน สำหรับชุดบอกปริมาณไฟฟ้าสองจานต่อวงจรการวัดดังรูป (ข)



รูป ก. การต่อเครื่องวัดงานไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย



ข. การต่อเครื่องวัดงานไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย



รูป ค. การต่อเครื่องวัดงานไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

รูปเครื่องวัดงานไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส

3.6 Ground Resistance

หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานระบบกราวด์หรือสายดิน เพื่อทำการปรับปรุงระบบกราวด์ให้มีประสิทธิภาพ และเกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า

การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน (Measurement of Soil Resistivity)

เราทราบแล้วว่า ความต้านทานจำเพาะของดินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เราไม่ทราบความต้านทานจำเพาะของดินที่แน่นอนได้ ดังนั้นเมื่อต้องการทราบความต้านทานจำเพาะของดินจึงต้องมีการวัดทุกครั้ง

วิธีที่นิยมใช้กัน คือ วิธีของเวนเนอร์ (Wenner) โดยอาศัยหลักการการปรับเทียบแรงดันของ Bridge Meter เครื่องวัดชนิดนี้เรียกว่า " Earth Resistance Meter " ซึ่งประกอบด้วยขั้วออก 4 ขั้ว พร้อมกับอิเล็กโตรดช่วยอีก 4 ตัว อิเล็กโตรดจะถูกตอกลงดินในแนวดิ่งด้วยระยะห่างเท่าๆ กัน ความลึกประมาณ 0.30 – 0.50 เมตร

ปกติแล้วความต้านทานจำเพาะของดินจะมีค่าแปรไปตามความลึกของดิน เพราะดินมีการแบ่งตัวเป็นชั้นๆ ตามแนวนอน และมีความต้านทานจำเพาะแต่ละชั้นต่างกันด้วย ในดินชั้นบนความต้านทานจำเพาะของดินจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และความชื้น ในดินชั้นล่าง (ความลึก 1 – 30 เมตร) จะมีความต้านทานจำเพาะค่อนข้างคงที่ เพราะได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศน้อย ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องฝังหลักดินให้ลึกถึงระดับดินชั้นล่าง

การวัดความต้านทานดินของหลักดิน (Measurement of Earth Resistance)

เครื่องวัดความต้านทานดินเป็นชนิดเดียวกันกับเครื่องวัดความต้านทานจำเพาะของดิน ความถูกต้องของการวัดจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของกระแสทดสอบ และลักษณะการวาง Current Electrode และ Probe เมื่อทำการวัดในดินที่มีความต้านทานจำเพาะสูง จำเป็นต้องลดความต้านทานที่ Current Electrode ลง เพื่อเพิ่มกระแสทดสอบ โดยการนำ Current Electrode หลายๆ ตัวมาต่อขนานกัน หรืออาจทำให้ดินบริเวณ Current Electrode เปียกชื้นในขณะที่กำลังทำการวัด เมื่อทำให้การไหลของกระแสทดสอบเป็นด้วยดีแล้ว ก็สามารถอ่านค่าความต้านทานได้จากมิเตอร์โดยตรง

รูปแสดงเครื่องมือวัดความต้านทานกราวด์

3.7 Lux Meter

ลักซ์มิเตอร์ชนิดเข็ม

ลักซ์มิเตอร์ชนิดตัวเลข

ลักซ์มิเตอร์ (Luxmeter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณแสงที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lm/m^2) หรือมีหน่วยเป็น " ลักซ์ " เพื่อบอกว่า ระดับความสว่างที่ได้เพียงพอหรือไม่ ลักซ์มิเตอร์ที่ใช้ควรเป็นชนิดปรับแก้ค่าเชิงความยาวคลื่นคือ ความไวต่อความยาวคลื่นแสงเหมือนตามนุษย์ และปรับแก้ค่าเชิงมุมคือ ปรับแก้ความสว่างที่วัดได้เมื่อแสงตกกระทบไม่ตั้งฉากกับผิวหน้าของหัววัด หลักการทำงานคือ ตัวเซนเซอร์จะรับแสงแล้วแปลงให้เป็นไฟฟ้าส่งต่อไปยังที่มิเตอร์วัดแล้วเทียบสเกลให้เป็นค่าลักซ์ ถ้าเป็นแบบดิจิตอลก็จะแสดงค่าเป็นตัวเลขสามารถอ่านค่าได้เลย

ความสว่างที่เหมาะสม สำหรับการส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานต่างๆ กำหนดเป็นแนวทางของค่าเฉลี่ยได้ตามตาราง (ตามมาตรฐาน ICI : International Commission on Illumination และสถิติทั่วไป)

ตารางค่าเฉลี่ยของความสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานต่างๆ

ที่	สถานที่	ความสว่าง (ลักซ์)
1.	ทางเดินภายนอก	30
2.	ทางเดินภายใน	100
3.	ห้องใช้งานไม่ต่อเนื่อง, ห้องเก็บของ	150
4.	งานโรงงาน (ชิ้นใหญ่, งานหยาบ)	300
5.	งานสำนักงาน, ห้องคอมพิวเตอร์, ห้องเรียน	500
6.	งานเขียนแบบ, งานละเอียด	750
7.	งานชิ้นส่วนเล็ก	1,000
8.	งานชิ้นส่วนเล็กมาก, เครื่องมือวัด	1,500
9.	งานผ่าตัด	2,000

3.8 Thermo Meter

เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ หรือความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้า มีให้เลือกใช้หลายชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานว่า จะใช้วัดอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทไหน ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะชนิดอินฟราเรดเท่านั้น

รูปแสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดต่างๆ

การตรวจวัดความร้อนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ โดยใช้เครื่องวัดชนิดอินฟราเรดที่ตรวจวัดรังสีความร้อน ซึ่งมีหลายแบบ มีความละเอียด และความสามารถแตกต่างกันออกไปตามความต้องการใช้งาน ในการวัดต้องระวังผลกระทบจากสิ่งข้างเคียงที่จะมีผลทำให้ค่าที่อ่านผิดพลาดได้คือ

1. แหล่งความร้อนจากที่อื่น เช่น การสะท้อนความร้อน แสงอาทิตย์ กระแสโหลด และกระแสเหนี่ยวนำ เป็นต้น

2. สภาพบรรยากาศที่ทำให้ความร้อนเปลี่ยนไป เช่น ลม ฝน และอื่นๆ

3. ระยะห่างจากจุดที่วัด เครื่องวัดจะบอกระยะ และขนาดของวัตถุที่วัดไว้ว่า ค่าเท่าใดที่จะให้ค่าความเที่ยงตรงสูง หากระยะหรือขนาดวัตถุเปลี่ยนไปจากที่กำหนดต้องปรับค่าที่วัดให้ถูกต้องด้วย

การวัดความร้อนจะวัดไปตามเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้า นำผลที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบค่า และสรุปผลในเบื้องต้น ความร้อนที่สูงกว่าปกติต้องมีการตรวจสอบรายละเอียดต่อไป

การวิเคราะห์ผล

เมื่อวัดอุณหภูมิได้แล้วจะนำมาวิเคราะห์ผล เพื่อดูว่าความร้อนที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือต้องมีการปรับปรุง มีวิธีการวิเคราะห์ผล 2 วิธี คือ Delta-T และวิธี Standard Base Temperature

- Delta – T คือการวัดอุณหภูมิเทียบกับจุดข้างเคียงที่อยู่ในสภาพปกติ เช่น การวัดจุดต่อสายจะใช้วิธีเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่จุดต่อสายกับตัวสายไฟฟ้าเส้นเดียวกัน อุณหภูมิที่วัดที่สายไฟฟ้าควรห่าง

จากจุดต่อสายพอสมควร (ประมาณ 0.5-1.0 เมตร) เพื่อหลีกเลี่ยงผลจากความร้อนที่จุดต่อสายจะมีผลมาที่สายไฟฟ้า

- Standard Base Temperature เป็นการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้กับอุณหภูมิมาตรฐานที่ทราบค่าแล้วเช่น สายไฟฟ้าพีวีซี เราทราบว่าเมื่อมีกระแสไหลเต็มพิกัด อุณหภูมิที่เปลือกจะร้อนประมาณ 70°C ถ้าค่าที่วัดได้เกินกว่านี้แสดงว่าผิดปกติ หรือวัดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทราบอุณหภูมิทำงานแล้ว เป็นต้น

อีกวิธีที่ใช้ได้ถ้าไม่ทราบค่าอุณหภูมิมาตรฐานคือ การเปรียบเทียบกับค่าในอดีต วิธีนี้จะต้องมีการวัดอุณหภูมิตามคาบเวลาและบันทึกค่าไว้ หรือโดยการเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่เหมือนกัน เป็นต้น

ตารางวิเคราะห์อุณหภูมิที่วัดได้

อุณหภูมิที่แตกต่าง °C	ความหมาย
	ระบบแรงต่ำ
ไม่เกิน 10	ควรมีการตรวจซ้ำในโอกาสต่อไป
10-20	ตรวจซ้ำลำดับต้นๆ ในโปรแกรมการตรวจครั้งต่อไป
20-30	ต้องมีการบำรุงรักษา โดยพิจารณาความสำคัญของอุปกรณ์
เกิน 30	ต้องบำรุงรักษาโดยด่วนที่สุด
	ระบบแรงสูง
ไม่เกิน 10	ควรมีการตรวจซ้ำในโปรแกรมการตรวจครั้งต่อไป
10-20	ต้องมีการตรวจซ้ำในโปรแกรมการตรวจครั้งต่อไป
20-40	ต้องมีการบำรุงรักษา โดยพิจารณาความสำคัญของอุปกรณ์
	ชนิดของโหลด และความรุนแรงของอุณหภูมิที่สูงขึ้น
เกิน 40	ต้องบำรุงรักษาโดยด่วนที่สุด

วิธีการตรวจวัด

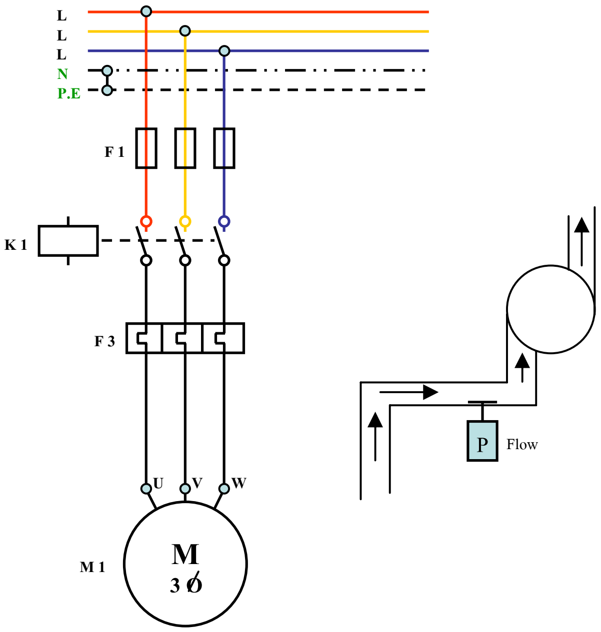
การตรวจวัดความร้อนจากการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดนี้สามารถทำได้ง่าย โดยการส่องลำแสงไปยังจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดจะแสดงอุณหภูมิเป็นองศา การวัดทำได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่การตรวจวัดต้องระวังเรื่องความเที่ยงตรงของการวัดค่าด้วย เนื่องจากขนาดของวัตถุที่ต้องการวัด และระยะห่างระหว่างจุดที่ต้องการวัดกับเครื่องวัดมีผลต่อค่าที่ได้ ข้อสำคัญคือการวัดความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าต้องวัดขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหล และควรเป็นค่ากระแสในการใช้งานจริง

3.9 Phase Sequence

หมายถึง เครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจสอบระบบไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อจะได้ทราบค่าและทำการต่อขั้วสายเพื่อให้เฟสถูกต้องตรงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส และในงานการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 แบบคือ ชนิดที่ใช้สายโพลบเพื่อหนีบที่ขั้วสายเพื่อตรวจสอบ และชนิดที่ใช้สายปลั๊กเพื่อเสียบกับเต้ารับได้เลย เหมาะสำหรับใช้ในงานติดตั้ง และตรวจซ่อมทั่วไปว่าสายไฟฟ้าเส้นไหนคือ เฟส A เฟส B และเฟส C เพื่อจะได้ต่อใช้งานได้อย่างถูกต้องไม่สลับเฟสกัน

รูปแสดงเครื่องมือวัดเฟสทางไฟฟ้า

ในรูปเป็นวงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส ที่ใช้สำหรับเครื่องปั๊มน้ำ 3 เฟส ถ้าต่อ L1, L2, L3 กับ U, V, W เรียงตามลำดับถูกต้อง เครื่องปั๊มน้ำก็ทำหน้าที่ปั๊มน้ำเข้าถังตามปกติ ในกรณีถ้าต่อสายสลับกันมอเตอร์ก็จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาไม่สามารถปั๊มน้ำเข้าถังได้ เพื่อความแน่ใจก่อนต่อสายต้องใช้เครื่องมือวัดเฟสตรวจสอบให้ถูกต้องเสียก่อนจึงต่อสายเข้ากับขั้วของมอเตอร์เพื่อใช้งานต่อไป



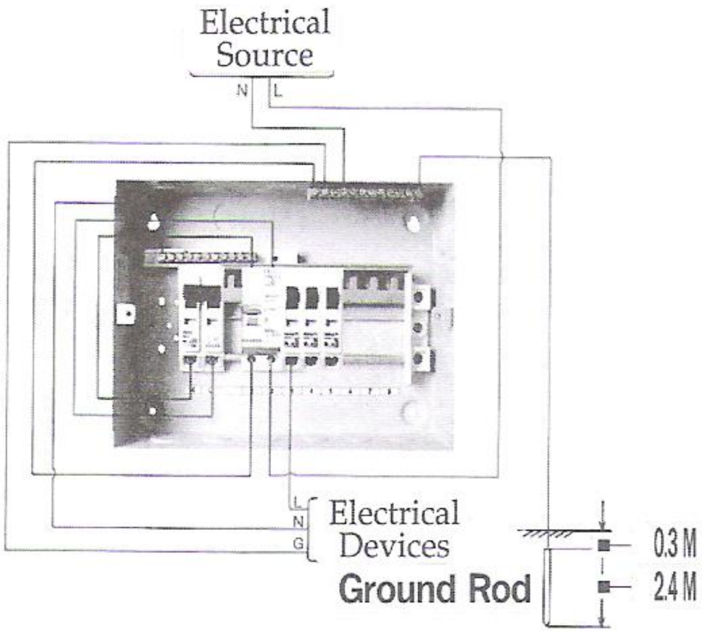
รูปแสดงการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส สำหรับเครื่องปั๊มน้ำ 3 เฟส

บทที่ 4 อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินแบบต่างๆ

4.1 เครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่ว

เครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่ว หรือในท้องตลาดเรียกว่า “เครื่องป้องกันไฟดูด” คือ เครื่องตัดวงจรอัตโนมัติที่จะทำการตัดกระแสไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน เครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่วมีชื่อเรียกต่างๆ กันไป เช่น

- เครื่องตัดไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่งลงดิน
- Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB)
- Ground Fault Circuit Interrupter (GFCI)
- Residual Current Device (RCD)



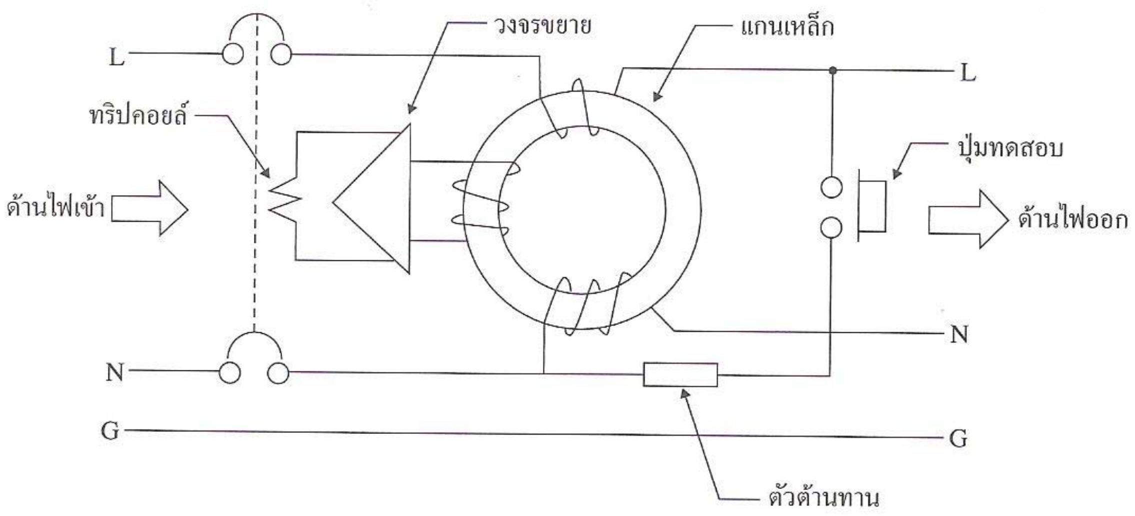
การติดตั้งอุปกรณ์ภายในแผงเมนสวิตช์พร้อมติดตั้ง RCD

หลักการทำงานของเครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่ว

เครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่วจะทำงานโดยอาศัยหลักการที่ว่า กระแสไฟฟ้าเข้ากับกระแสไฟฟ้าออกมีค่าเท่ากันในสภาพใช้งานปกติ (กระแสไฟเส้น L และ N มีค่าเท่ากัน) สภาพเช่นนี้สนามแม่เหล็กในแกนเหล็กจะหักล้างกันจนมีค่าเป็นศูนย์ (0) ทำให้ไม่มีสัญญาณในวงจรขยาย เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่ว

ลงดิน หรือเกิดไฟดูด กระแสส่วนหนึ่งจะไหลผ่านคนและกลับไปทางพื้นดินหรือสายดินแล้วแต่ละกรณี เป็นผลให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องตัดกระแสไฟรั่วทั้ง 2 เส้น มีค่าไม่เท่ากัน จะทำให้มีสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก วงจรขยายจะจับสัญญาณได้และขยายสัญญาณให้สูงพอที่จะทำให้ทริปคอยล์มีแรงดูดให้เครื่องปลดวงจรทำการปลดวงจรได้ เครื่องตัดไฟรั่วก็จะทำงานปลดวงจรทันที ค่ากระแสที่เครื่องตัดไฟรั่วทำงานนี้สามารถปรับตั้งได้ ปกติจะอยู่ที่ค่าประมาณ 5 ถึง 30 มิลลิแอมแปร์

ข้อสำคัญในการใช้งานเครื่องตัดกระแสไฟรั่วคือต้องติดตั้งให้ถูกต้องด้วย เพราะอาจจะมีผลเสียมากกว่าไม่ติดตั้งเสียอีก เนื่องจากการติดตั้งไม่ถูกต้องเครื่องจะไม่ทำงานปลดวงจรเมื่อมีไฟดูดคน แต่บุคคลที่ติดตั้งคิดว่าเครื่องยังทำงานได้ตามปกติ ทำให้ความระมัดระวังลดลง

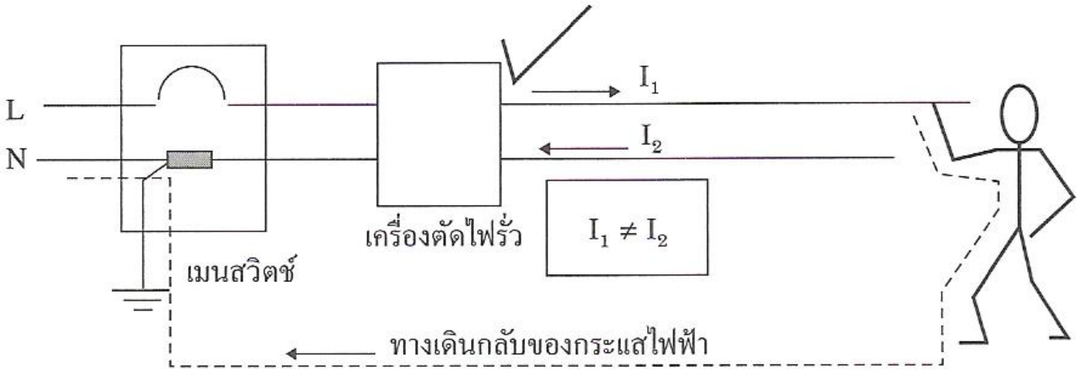


รูปวงจรแสดงการทำงานของเครื่องตัดกระแสไฟรั่ว

รูปเครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่ว

การติดตั้งใช้งานเครื่องตัดไฟรั่วให้ถูกต้องแล้ว ยังมีข้อที่ควรระวังอีกหลายประการด้วยกัน เช่น เครื่องตัดไฟรั่วอาจชำรุดหรือทำงานผิดพลาดได้โดยเราไม่ทราบ เครื่องตัดไฟรั่วจึงให้ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันเสริมเท่านั้น ต้องมีระบบสายดินด้วยจึงจะมั่นใจได้ว่าปลอดภัย และเครื่องตัดกระแสไฟรั่วบางชนิด คุณสมบัติจะเปลี่ยนตามแรงดันไฟฟ้า ไวต่อแรงดันเกินชั่วขณะ (Impulse) เช่นเมื่อเกิดฟ้าผ่า คุณสมบัติเปลี่ยน ถ้ามีฮาร์โมนิกหรือเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน การติดตั้งใช้งานต้องระมัดระวัง และต้องมีการทดสอบเป็นประจำ

เครื่องตัดไฟรั่วบางเครื่อง สามารถปลดวงจรได้ทั้งเมื่อเกิดไฟรั่วและเมื่อเกิดกระแสเกิน แต่บางเครื่องจะปลดวงจรเฉพาะเมื่อเกิดไฟรั่วเท่านั้น ในการใช้งานจะต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินอื่นต่อใช้งานร่วมด้วย การนำไปใช้งานควรต้องศึกษาข้อมูลให้ชัดเจนเสียก่อน



รูปแสดงการติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วในวงจรที่ถูกวิธี

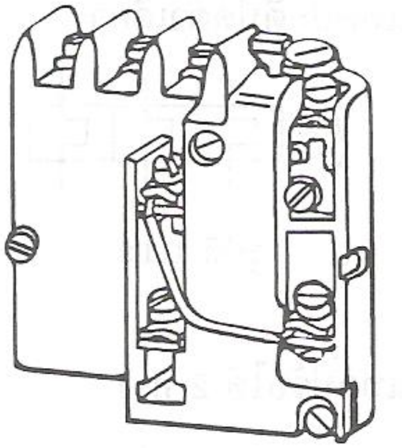
4.2 โอเวอร์โหลด (Overload)

เป็นอุปกรณ์ที่ไวต่ออุณหภูมิ ทำหน้าที่เปิดหรือปิดวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านชิ้นส่วนรับความร้อนที่ปรับค่าไว้ จะทำให้อุณหภูมิของโอเวอร์โหลดสูงขึ้น เพื่อตัดวงจรไฟฟ้า ส่วนใหญ่ใช้ในวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์

รูปแสดงอุปกรณ์โอเวอร์โหลด

โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay)

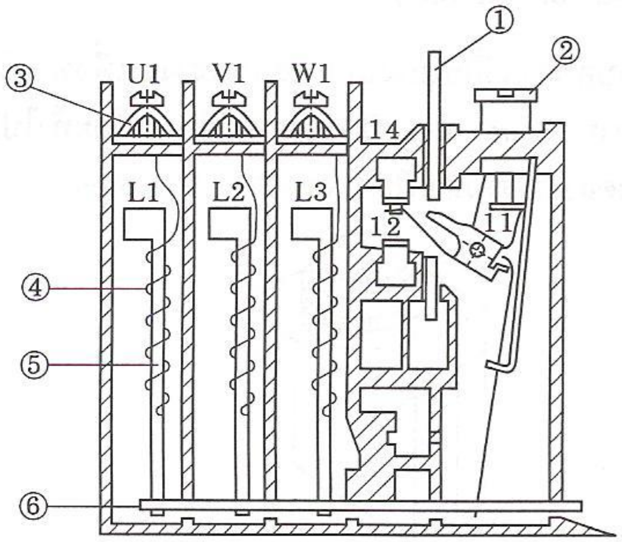
โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay หรือ Protection motor relay) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันมอเตอร์ที่เรียกว่า Running Protection ออกแบบใช้สำหรับตัดวงจรของมอเตอร์เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเกินกว่ากระแสพิกัดจะทำให้ขดลวดของมอเตอร์ร้อนขึ้นเรื่อยๆ และไหม้ในที่สุด แต่ถ้าวงจรมีโอเวอร์โหลดรีเลย์อยู่ด้วย และตั้งขนาดกระแสให้ถูกต้อง วงจรควบคุมจะถูกตัดวงจรออกไปก่อนที่มอเตอร์จะไหม้



รูปแสดงลักษณะทั่วไปของโอเวอร์โหลดรีเลย์

โครงสร้าง

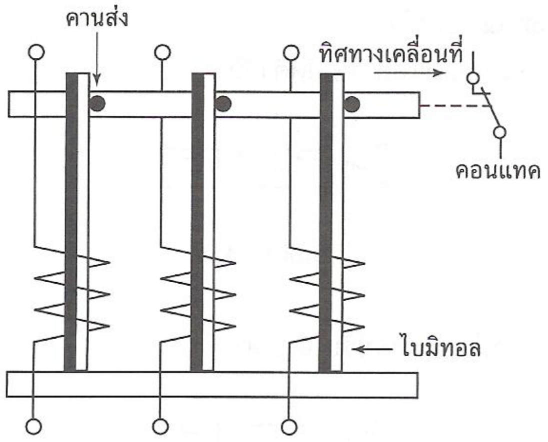
หลักการทำงานของโอเวอร์โหลดรีเลย์ที่กล่าวถึงนี้ จะอาศัยผลของความร้อน โครงสร้างภายในประกอบด้วย ขดลวดความร้อนที่พันอยู่กับไบมิทอล (Bimetal) เมื่อไบมิทอลร้อนจะโก่งตัวไปดันให้คานส่ง (ทำด้วยเบเกอร์ไลท์) เคลื่อนที่ไปดันคอนแทคควบคุม



รูปแสดงส่วนประกอบและตำแหน่งของคอนแทคในขณะโอเวอร์โหลด

จากรูปแสดงส่วนประกอบของคอนแทคมีรายละเอียดดังนี้

1. ปุ่มรีเซต
2. ลูกบิดปรับพิกัดกระแส
3. ขั้วต่อสายเมน
4. ขดลวดความร้อน
5. ก้านไบมิทอล
6. คานส่ง



รูปแสดงโอเวอร์โหลดรีเลย์ชนิดคอนแทคปรับได้ 2 ทาง

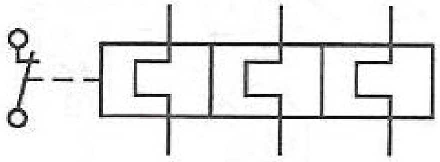
โอเวอร์โหลดรีเลย์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบไม่มีรีเซต แบบนี้เวลาไบมิทอลเย็นตัวลงคอนแทคจะกลับมาอยู่ที่เดิม
2. แบบมีรีเซต แบบนี้ถ้าต้องการให้คอนแทคกลับที่เดิมต้องกดปุ่มรีเซตก่อน

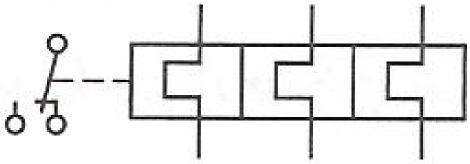
สัญญลักษณ์

1. สัญญลักษณ์แบบไม่มีรีเซต

    1.1 ชนิดมีคอนแทคปกติปิดตัวเดียว

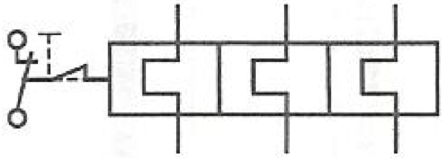


    1.2 ชนิดมีคอนแทคปรับได้ 2 ทาง

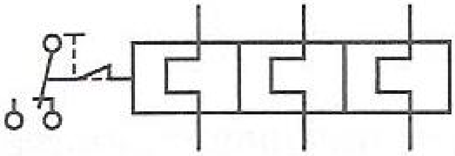


2. สัญญลักษณ์แบบรีเซต

2.1 ชนิดมีคอนแทคปกติปิดตัวเดียว

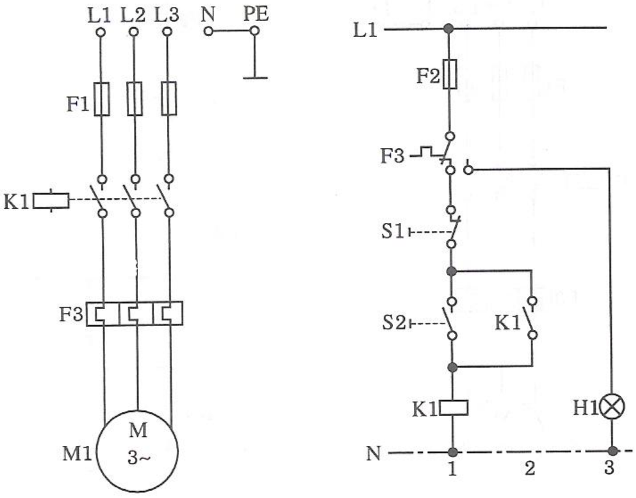


2.2 ชนิดมีคอนแทคปรับได้ 2 ทาง



วงจรแสดงสัญญาณขณะเกิดการโอเวอร์โหลด

ในเรื่องของวงจรควบคุม 1 ตำแหน่ง จะเห็นได้ว่า คอนแทคเตอร์จะหยุดทำงานได้ก็ต่อเมื่อกด Push Button OFF , ฟิวส์ควบคุมขาด หรือมอเตอร์โอเวอร์โหลด แล้วคอนแทคของโอเวอร์โหลดเปิดวงจรควบคุม ถ้าหากวงจรเลือกใช้โอเวอร์โหลดแบบไม่มีรีเซต และฟิวส์ควบคุมไม่ขาด หากมอเตอร์หยุดทำงานโดยที่เราไม่เห็นเหตุการณ์ก่อนมอเตอร์หยุดหมุน เป็นการยากที่จะบอกได้ว่า มอเตอร์หยุดหมุนไป เพราะมีใครมากดสวิตช์ OFF หรือจะเป็นเพราะมอเตอร์โอเวอร์โหลด เพราะเมื่อสวิตช์ถูกปล่อย หรือโอเวอร์โหลดเย็นตัวลง คอนแทคของอุปกรณ์ทั้งสองก็จะกลับตำแหน่งเดิม และพร้อมที่จะสตาร์ทใหม่ มอเตอร์บางตัวเป็นหัวใจในการทำงาน ถ้ามีอาการผิดปกติเกิดขึ้นกับมอเตอร์จะต้องรีบแก้ไขทันที นั่นคือ ถ้ามอเตอร์ตัวนี้เกิดการโอเวอร์โหลดจะต้องมีการแสดงสัญญาณให้ทราบ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้โอเวอร์โหลดชนิดปรับได้ 2 ทาง แสดงดังรูป



รูปวงจรแสดงสัญญาณโดยใช้คอนแทคจากตัวโอเวอร์โหลด

เมื่อมอเตอร์โอเวอร์โหลดคอนแทกของโอเวอร์โหลดจะมาต่อให้หลอดสัญญาณ H1 ทำงาน และหลอดจะติดอยู่ชั่วครู่ เมื่อไบมิทอลเย็นตัวลงคอนแทกของโอเวอร์โหลดก็จะกลับที่เดิม หลอดก็จะดับ การแจ้งสัญญาณด้วยวงจรนี้ยังไม่ดีนัก เพราะว่า หลอดสัญญาณจะสว่างเพียงชั่วครู่ เมื่อไบมิทอลเย็นตัวลงหลอดก็จะดับ ทำให้เป็นการยากที่จะรู้ว่า หยุดเพราะกด S1 หรือหยุดเพราะ มอเตอร์โอเวอร์โหลด

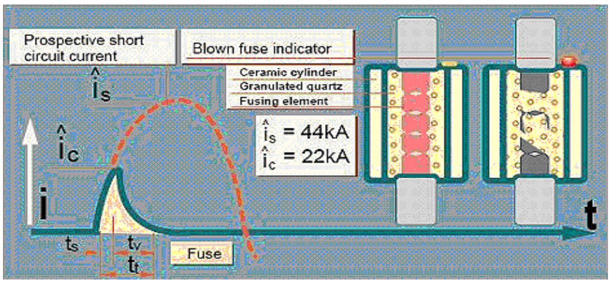
4.3 ฟิวส์แบบอื่นๆ

ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ตัดระบบไฟฟ้าขั้นพื้นฐาน มีหลายประเภท การนำฟิวส์มาใช้งานให้เกิดประโยชน์และปลอดภัยต่อผู้ใช้งานมากที่สุดนั้น จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในแต่ละชนิดของฟิวส์เป็นอย่างดี

ฟิวส์มีคุณสมบัติที่แสดงถึงลักษณะของการทำงาน และลักษณะของการใช้งาน ดังนี้

1. ค่าพิกัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage rating) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบฟิวส์
2. ค่าพิกัดกระแสไฟฟ้า (Current rating) คือ ค่ากระแสไฟฟ้าปกติที่ไหลผ่านฟิวส์
3. ค่ากระแสเกิน (Overload) คือ ค่าที่ฟิวส์ใช้งานในภาวะโหลดเกินได้ระยะหนึ่ง
4. ค่าหน่วงเวลา (Time delay) คือ ค่าเวลาที่ฟิวส์ขาดโดยใช้เวลาช้ากว่ากำหนด
5. ค่าเวลาหลอมละลาย (Melting time) คือ เวลาที่ฟิวส์เริ่มหลอมละลายเมื่อกระแสเกิน
6. ค่าเวลาตัดกระแส (Clearing time) คือ เวลาที่ฟิวส์เริ่มหลอมละลายจนฟิวส์ขาดเมื่อกระแสเกิน
7. พิกัดกระแสลัดวงจร (Interrupting capacity – IC) คือ ค่าที่ฟิวส์ตัดกระแสสูงสุดได้อย่างปลอดภัย

คุณสมบัติของฟิวส์เมื่อมีกระแสไหลผ่านนั้น แสดงได้ตามรายละเอียดในภาพ



รูปแสดงคุณสมบัติของฟิวส์

4.3.1 คัตเอาต์ชนิดฟิวส์ขาดตก (Dropout fuse cutout)

อุปกรณ์ป้องกันชนิดนี้นิยมติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และด้านข้าวของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าเกิน 1,000 โวลต์ โดยมีลักษณะตามภาพ ทำงานโดยการให้ฟิวส์ขาดระเบิด และมีการดับอาร์กภายในกระบอกฟิวส์ เมื่อไส้ฟิวส์ขาดสปริงจะดึงไส้ฟิวส์ให้ขาดเร็วขึ้น และกระบอกฟิวส์จะห้อยตกลงจากขั้วจับด้านบน

รูปคัตเอาต์ชนิดฟิวส์ขาดตก

4.3.2 เอชอาร์ซีฟิวส์ (HRC-High rupturing capacity fuse)

ไส้ฟิวส์นี้บรรจุอยู่ในกระบอกฉนวนภายในจะบรรจุทรายเพื่อดับอาร์ก ซึ่งไส้ฟิวส์มีลักษณะแบน ฟิวส์ชนิดนี้ใช้ตัดกระแสที่มีค่าสูงมาก จึงนำมาใช้ป้องกันระบบไฟฟ้าแรงต่ำที่มีกระแสสูงถึง 1,000 แอมแปร์ โดยมีการติดตั้งทางด้านออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า ลักษณะของฟิวส์ชนิดนี้พร้อมฐานฟิวส์ดังรูป

รูปแสดง เอชอาร์ซีฟิวส์พร้อมฐานฟิวส์

4.3.3 ปลั๊กฟิวส์ (Plug fuse)

ฟิวส์ชนิดนี้บรรจุในกระบอกที่เป็นกระเบื้อง ภายในบรรจุทราย เพื่อดับอาร์กเมื่อฟิวส์หลอมละลายขาดจากกัน ฟิวส์นี้มักใช้ติดตั้งที่แผงไฟฟ้า โดยมีทั้งชนิดที่ขาดเร็วซึ่งจะขาดทันทีเมื่อมีกระแสไหลเกินขนาด เช่น ใช้ตามบ้านพักอาศัยเพื่อความปลอดภัยโดยเฉพาะ และชนิดหน่วงเวลาซึ่งจะขาดช้าคือไม่ขาดทันทีเมื่อมีกระแสเกินชั่วขณะ ได้แก่ ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ เนื่องจากขณะเริ่มหมุนมอเตอร์จะกินกระแสไฟมาก ลักษณะของฟิวส์พร้อมฐานฟิวส์ที่เป็นเกลียวตามภาพ

รูปปลั๊กฟิวส์พร้อมฐานฟิวส์

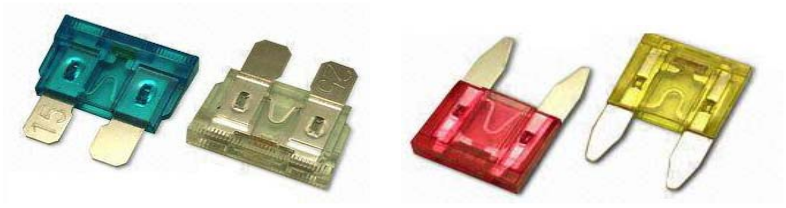
4.3.4 คาร์ทริดจ์ฟิวส์ (Cartridge fuse)

ฟิวส์ชนิดนี้อยู่ภายในกระบอกที่เป็นฉนวนเช่น กระเบื้อง โดยปลายทั้งสองด้านต่อเชื่อมกับโลหะ ฟิวส์ชนิดนี้ทำงานเหมือนกับปลั๊กฟิวส์ โดยติดตั้งบนขาหนีบสปริง และจะใช้ติดตั้งที่แผงไฟฟ้า

รูปแสดง คาร์ทริดจ์ฟิวส์

4.3.5 ฟิวส์ใบมีด (Blade fuse)

ฟิวส์ชนิดนี้ทำงานโดยการหลอมละลายจากความร้อนเช่นกัน ซึ่งมีขนาดกระแสสูงกว่าฟิวส์ชนิดอื่น ฟิวส์ชนิดนี้ติดตั้งบนขาหนีบสปริง มีลักษณะตามภาพ



รูปแสดงฟิวส์ใบมีด

4.3.6 ฟิวส์ก้ามปู

ฟิวส์ชนิดนี้ใช้ป้องกันวงจรไฟฟ้าทั่วไปเป็นสะพานไฟโดยมีจุดหลอมละลายต่ำมาก ซึ่งในการหลอมละลายขาดจากกันจะมีประกายไฟที่อาจเกิดอันตรายต่อผู้อยู่ใกล้เคียงได้ หากไม่มีการป้องกันที่ดีพอ

รูปแสดง ฟิวส์ก้ามปู

บทที่ 5 ข้อกำหนดการเดินสายและวัสดุ

ขอบเขต

ข้อกำหนดนี้ครอบคลุมถึงการเดินสายทั้งหมด ยกเว้น การเดินสายที่เป็นส่วนประกอบภายในของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าเช่น มอเตอร์ แผงควบคุม และแผงสวิตช์ต่างๆ ซึ่งประกอบสำเร็จรูปจากโรงงาน การเดินสายนอกเหนือจากที่กล่าวในบทนี้ ยอมให้ทำได้เมื่อได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ แล้ว

ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับระบบแรงต่ำ

1. สายไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันต่างกัน ให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

1.1 ระบบแรงต่ำทั้ง AC และ DC ให้ติดตั้งสายไฟฟ้ารวมกันอยู่ภายในท่อสาย หรือเครื่องห่อหุ้มเดียวกันได้ ถ้าฉนวนของสายทั้งหมดที่ติดตั้งเหมาะสมกับระบบแรงดันสูงสุดที่ใช้

1.2 ห้ามติดตั้งสายไฟฟ้าระบบแรงต่ำรวมกับสายไฟฟ้าระบบแรงสูงในท่อสาย หรือเครื่องห่อหุ้มเดียวกัน ยกเว้น ในแผงสวิตช์ บ่อพักสาย หรือเครื่องห่อหุ้มอื่นที่ไม่ได้ใช้เพื่อการเดินสาย

2. สายไฟฟ้าต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพดังนี้

2.1 การเดินสายทะลุผ่านโครงสร้างไม้ รูที่เจาะผ่านโครงสร้างต้องห่างจากขอบไม้ไม่น้อยกว่า 3 ซม. หากรูที่เจาะห่างจากขอบน้อยกว่า 3 ซม. หรือเดินในช่องบาก ต้องมีการป้องกันไม่ให้ตะปู หรือหมุดเกลียวถูกสายได้

2.2 การเดินสายชนิดที่มีเปลือกนอกไม่เป็นโลหะทะลุผ่านโครงสร้างโลหะที่เจาะเป็นช่อง หรือรูต้องมีบุชชิ่งยึดติดกับช่องหรือรู เพื่อป้องกันฉนวนของสายชำรุด ยกเว้น ช่องหรือรูที่มีขอบมน หรือผิวเรียบ

2.3 การเดินสายทะลุผ่านโครงสร้างอื่นต้องมีปลอกที่เป็นฉนวนไฟฟ้าสวม หรือจัดทำรูให้เรียบร้อยเพื่อป้องกันฉนวนที่หุ้มสายเสียหาย

3. การป้องกันการผุกร่อน

ท่อสาย เกราะหุ้มเคเบิล (Cable armor) เปลือกนอกของเคเบิล กล่อง ตู้ ท่อโค้ง ข้อต่อ และเครื่องประกอบการเดินท่ออื่นๆ ต้องเป็นวัสดุที่เหมาะสม หรือมีการป้องกันที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่สิ่งนั้นติดตั้งอยู่ การป้องกันการผุกร่อนต้องทำทั้งภายใน และภายนอกเครื่องอุปกรณ์ โดยการเคลือบด้วยวัสดุที่ทนต่อการผุกร่อน เช่น สังกะสี แคดเมียม หรือ อีนาเมล (Enamel) ในกรณีที่มีการป้องกันการผุกร่อนด้วยอีนาเมล ห้ามใช้ ในสถานที่เปียก หรือภายนอกอาคาร กล่องต่อสาย หรือตู้ที่ใช้กรรมวิธีป้องกันการผุกร่อนด้วย Organic coating ยอมให้ใช้ภายนอกอาคารได้เฉพาะเมื่อได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ แล้วเท่านั้น

4. การติดตั้งวัสดุ และการจับยึด

4.1 ท่อสาย รางเดินสาย รางเคเบิล อุปกรณ์จับยึดเคเบิล กล่อง ตู้ และเครื่องประกอบการเดินท่อต้องยึดติดกับที่ให้มั่นคง

4.2 ท่อสาย เกราะหุ้ม และเปลือกนอกของเคเบิล ทั้งที่เป็นโลหะ และที่ไม่ใช่โลหะต้องต่อเนื่องระหว่างตู้ กล่อง เครื่องประกอบการเดินท่อ สิ่งห่อหุ้มอย่างอื่น หรือจุดต่อไฟฟ้า

4.3 การเดินสายในท่อสาย

สำหรับแต่ละจุดที่มีการต่อสาย ปลายท่อจุดต่อสายไฟฟ้า จุดต่อแยก จุดติดสวิตช์ หรือจุดดึงสายต้องติดตั้งกล่อง หรือเครื่องประกอบการเดินท่อ ยกเว้น การต่อสายในสิ่งห่อหุ้มสายที่มีฝาเปิดออกได้และเข้าถึงได้ภายหลังการติดตั้ง

4.4 สายไฟฟ้าในท่อสายแนวดิ่งต้องมีการจับยึดสายที่ปลายบนของท่อสาย และต้องมีการจับยึดสายเป็นช่วงๆ ซึ่งห่างไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 1 (ระยะห่างสำหรับการจับยึดสายไฟฟ้าแนวดิ่ง) ยกเว้น ถ้าระยะตามแนวดิ่งน้อยกว่าร้อยละ 25 ของระยะที่กำหนดในตารางที่ 1 ไม่ต้องใช้ที่จับยึด

5. จุดเปลี่ยนการเดินสายจากวิธีใช้ท่อสาย หรือรางเคเบิลเป็นวิธีเดินสายในที่โล่ง หรือเดินสายซ่อน ต้องใช้กล่อง หรือเครื่องประกอบการเดินท่อ เช่น Service entrance connector ตรงปลายท่อที่มีรูเป็นบุชชิ่งแยกกัน 1 รู สำหรับ 1 ท่อ อนุญาต ให้ใช้บุชชิ่งแทนการใช้กล่อง หรือ Terminal fitting ที่ปลายท่อในเมื่อปลายของท่อเดินล้ำเข้าไปในแผงสวิตช์แบบเปิด หรือแผงควบคุมแบบเปิดได้

6. ต้องป้องกันไม่ให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในเครื่องห่อหุ้ม หรือท่อสายที่เป็นโลหะดังนี้

6.1 เมื่อติดตั้งสายสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับในเครื่องห่อหุ้ม หรือท่อสายที่เป็นโลหะ ต้องจัดทำมิให้เกิดความร้อนแก่โลหะที่ล้อมรอบ เนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำ เช่น โดยการรวมสายทุกเส้นของวงจรและสายนิวทรัล (ถ้ามี) รวมทั้งสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าไว้ในสิ่งห่อหุ้ม หรือท่อสายเดียวกัน

6.2 เมื่อสายเดี่ยวของวงจรเดินทะลุผ่านโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กจะต้องจัดให้ผลการเหนี่ยวยำมีน้อยที่สุด โดยการตัดร่องให้ถึงกันระหว่างรูแต่ละรูที่ร้อยสายแต่ละเส้น หรือโดยการร้อยสายทุกเส้นของวงจรผ่านช่องเดียวกัน

7. ท่อสาย กล่อง ตู้ เครื่องประกอบ และเครื่องห่อหุ้มที่เป็นโลหะต้องต่อลงดิน

8. ในท่อสาย และรางเคเบิลต้องไม่มีท่อสำหรับงานอื่นที่ไม่ใช่งานไฟฟ้า เช่น ท่อไอน้ำ ท่อประปา ท่อก๊าซ ฯลฯ

9. เมื่อเดินท่อสายผ่านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก เช่น เดินท่อสายเข้าออกห้องเย็น ต้องมีการป้องกันการไหลเวียนของอากาศภายในท่อจากส่วนที่มีอุณหภูมิสูงไปส่วนที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า เพื่อไม่ให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำภายในท่อ

10. การกำหนดสีของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน

10.1 สายนิวทรัล ใช้สีเทาอ่อน หรือสีขาว

10.2 สายดิน ใช้สีเขียว หรือ สีเขียวแถบเหลือง

10.3 สายเส้นไฟ ใช้สายที่มีสีแตกต่างไปจากสายนิวทรัล และสายดิน

ข้อยกเว้นที่ 1 สายไฟฟ้าที่มีขนาดโตกว่า 16 ตร.มม. ให้ทำเครื่องหมายแทนการกำหนดสีที่ปลายสาย

ข้อยกเว้นที่ 2 สายออกจากมิเตอร์ถึงเมนสวิตช์

การเดินสายบนผิวอาคาร

1. ใช้สายระบบแรงต่ำทั่วไปภายในอาคาร โดยใช้สายไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก. 11-2531
2. การเดินสายต้องป้องกันไม่ให้ฉนวนของสายชำรุด
3. การเดินสายโดยใช้เข็มขัดรัดสาย ต้องมีระยะห่างของเข็มขัดรัดสายไม่เกิน 20 เซนติเมตร
4. การต่อ และการต่อแยกสายให้ทำในกล่องต่อสายสำหรับงานไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติตามหัวข้อกล่องสำหรับงานไฟฟ้าข้อ 2 เท่านั้น
5. การเดินสายทะลุผ่านผนัง หรือสิ่งก่อสร้างจะต้องมีการป้องกันสาย โดยจะต้องร้อยสายผ่านปลอกฉนวนที่เหมาะสม และไม่ดูดความชื้น เพื่อป้องกันฉนวนของสายไฟฟ้าเสียหาย
6. การเดินสายให้ติดตั้งเรียงเป็นชั้นเดียว ห้ามซ้อนกัน
7. สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน และเปลือกแกนเดียว สายแบน 2 แกน และสายแบน 3 แกน (VAF) หากเดินบนผิวภายนอกอาคาร ยอมให้เฉพาะติดตั้งชายคา หรือกันสาด

การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวน

1. การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนภายในอาคารให้ใช้ได้เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม งานเกษตรกรรม และงานแสดงสินค้าเท่านั้น
2. ต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพตามข้อกำหนดการเดินสายข้อ 2 และสายต้องอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร
3. การเดินสายในสถานที่ชื้น เปียก หรือมีไอที่ทำให้เกิดการผุกร่อน ต้องมีการจัดทำเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่สายไฟฟ้าได้
4. สายไฟฟ้าที่ใช้ต้องเป็นสายหุ้มฉนวน ยกเว้น สายที่ป้อนกำลังให้ปั้นจั่นชนิดเคลื่อนที่ได้บนราง
5. วัสดุฉนวนสำหรับการเดินสายต้องเป็นชนิดที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน
6. การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนภายในอาคารให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2 (การเดินสายบนวัสดุฉนวนภายในอาคาร)

7. การเดินสายเปิดบนตุ้มภายนอกอาคาร ยอมให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2 (การเดินสายบนวัสดุฉนวนภายในอาคาร) ของการเดินสายบนตุ้มภายในอาคาร หากเดินสายข้ามที่โล่งจะต้องใช้สายขนาดไม่เล็กกว่า 2.50 ตร.มม. และระยะระหว่างจุดจับยึดสายต้องไม่เกิน 5 เมตร

8. การเดินสายเปิดบนลูกรอก หรือลูกถ้วยภายนอกอาคารให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 3 (การเดินสายเปิดบนลูกรอก หรือลูกถ้วยภายนอกอาคาร)

กล่องสำหรับงานไฟฟ้า

1. ขอบเขต

ครอบคลุมการติดตั้ง และการใช้กล่องสำหรับงานไฟฟ้า เช่น กล่องสำหรับจุดต่อไฟฟ้าของสวิตซ์ หรืออุปกรณ์กล่องต่อสาย กล่องดึงสาย กล่องแยกสาย และกล่องอื่นๆ ที่ติดตั้งเพื่อวัตถุประสงค์ในการเดินสาย

2. ข้อกำหนด และลักษณะการใช้งาน

2.1 กล่องต้องทำจากวัสดุที่ทนต่อการผุกร่อน หรือมีการป้องกันที่เหมาะสมทั้งภายในและภายนอก เช่น เคลือบด้วยสี หรืออาบสังกะสี หรือวิธีอื่นๆ

2.2 ต้องจัดให้มีบุชชิ่ง หรือเครื่องประกอบที่มีขอบมนเรียบตรงบริเวณที่ตัวนำ หรือเคเบิลผ่านผนังของกล่อง

2.3 กล่องต้องสามารถบรรจุตัวนำ หรือเคเบิลได้ทั้งหมด

2.4 เมื่อติดตั้งกล่องแล้ว สายที่บรรจุต้องเข้าถึงได้โดยไม่ต้องรื้อถอนส่วนใดของอาคาร และต้องมีที่ว่างให้สามารถทำงานได้สะดวก

2.5 กล่องต้องมีฝาปิดที่เหมาะสม และปิดอย่างแน่นหนา

2.6 หลังการติดตั้งแล้ว กล่องต้องไม่มีรู หรือช่องที่โตพอให้วัตถุที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 7.50 มิลลิเมตรลอดเข้าไปได้

การต่อทางไฟฟ้า

1. การต่อสายตัวนำต้องใช้อุปกรณ์ต่อสาย และวิธีการต่อสายที่เหมาะสมโดยเฉพาะการต่อตัวนำที่เป็นโลหะต่างชนิดกัน

2. ขั้วต่อสาย Terminal

2.1 การต่อตัวนำเข้ากับขั้วต่อสายต้องมั่นใจว่า เป็นการต่อที่ดีและไม่ทำให้ตัวนำเสียหาย ขั้วต่อสายจะต้องเป็นแบบบีบ บัดกรี หรือขันแน่นด้วยสกรู หรือ นัต

2.2 สายขนาดไม่โตกว่า 6 ตารางมิลลิเมตรยอมให้ใช้สายพันรอบสกรูขันให้แน่น

3. การต่อสาย Splice ต้องใช้อุปกรณ์สำหรับการต่อสายที่เหมาะสมกับงาน หรือโดยการเชื่อมประสาน (Brazing) การเชื่อม (Welding) หรือการบัดกรี (Soldering) ที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน หากใช้วิธีการบัดกรีต้องต่อให้แน่นทั้งทางกล และทางไฟฟ้าเสียก่อนแล้วจึงบัดกรีทับรอยต่อ และปลายสายที่ตัดทิ้งต้องมีการหุ้มฉนวนให้ทนแรงดันไฟฟ้าได้เทียบเท่ากับฉนวนของสาย หรือใช้อุปกรณ์ฉนวนที่เหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งนี้วายร์นัต (Wire nut) ยอมให้ใช้เป็นอุปกรณ์ต่อสายได้

ตารางที่ 1 : ระยะห่างสำหรับการจับยึดสายไฟฟ้าแนวดิ่ง

ขนาดของสายไฟฟ้า (ตารางมิลลิเมตร)	ระยะจับยึด (เมตร)
ไม่เกิน 50	30
70 – 120	24
150 – 185	18
240	15
300	12
เกินกว่า 300	10

ตารางที่ 2 : ระยะห่างการเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนภายในอาคาร

การติดตั้ง	ระยะสูงสุดระหว่างจุดจับยึดสาย (มม.)	ระยะห่างต่ำสุด (มม.) ระหว่าง		ขนาดสายโตสุด (ตร.มม.)
		สายไฟฟ้า	สายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้าง	
บนตุ้ม	2,500	100	25	50
บนลูกถ้วย	5,000	150	50	ไม่กำหนด

ตารางที่ 3 : ระยะห่างการเดินสายเปิดบนลูกถ้วยภายนอกอาคาร

ระยะสูงสุดระหว่างจุดจับยึดสาย (เมตร)	ระยะห่างต่ำสุด (มม.) ระหว่าง		ขนาดสายเล็กสุด (ตร.มม.)
	สายไฟฟ้า	สายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้าง	
ไม่เกิน 10	150	50	2.5
11 - 25	200	50	4
26 - 40	200	50	6

5.1 การเลือกชนิดและขนาดของสายไฟฟ้า

ในการพิจารณาเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้นมีหลายข้อที่ต้องพิจารณา ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพความเชื่อถือได้และความปลอดภัยในการใช้งาน ข้อกำหนดที่จะต้องพิจารณาในการเลือกสายไฟฟ้า ได้แก่

- พิกัดแรงดัน (Voltage Rating)
- พิกัดกระแส (Current Rating)
- สายควบ (Multiple Conductors)
- แรงดันตก (Voltage Drop)

1. พิกัดแรงดัน (Voltage Rating) สายไฟฟ้าที่จะใช้ต้องสามารถทนแรงดันใช้งานได้ตาม มอก.11-2531 ได้กำหนดแรงดันใช้งานเอาไว้ 2 ระดับคือ 300V และ 750V ดังนั้นในการเลือกชนิดของสายไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงพิกัดแรงดันให้เหมาะสมด้วย

2. พิกัดกระแส (Current Rating) คือ ความสามารถของสายไฟฟ้าในการจะนำกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งอย่างต่อเนื่องในขณะใช้งาน โดยไม่ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายมีค่าเกินอุณหภูมิที่กำหนดไว้

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ขนาดสายไฟฟ้า สายไฟฟ้าที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ก็จะมีค่าพิกัดกระแสสูงกว่าสายไฟฟ้าที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กกว่า

2. ชนิดของฉนวนที่หุ้มสายไฟฟ้า การที่สายไฟฟ้ามีฉนวนที่มีคุณภาพดีย่อมที่จะทำให้สายไฟฟ้าชนิดนั้นมีค่าพิกัดกระแสสูงขึ้น

3. อุณหภูมิโดยรอบ เนื่องจากค่าความต้านทานของตัวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นถ้าอุณหภูมิบริเวณรอบๆ ของสายไฟฟ้าที่ใช้มีค่าสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าพิกัดของกระแสลดลงจากค่าปกติ

4. ลักษณะการติดตั้ง เนื่องจากการติดตั้งสายไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธีเช่น เดินลอย เดินในท่อร้อยสาย หรือ เดินฝังในดิน การติดตั้งแต่ละแบบก็จะมีการถ่ายเทอากาศไม่เหมือนกัน ได้แก่ สายไฟฟ้าติดตั้งในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ก็จะมีค่าพิกัดกระแสสูงกว่ากรณีที่ติดตั้งในบริเวณอากาศถ่ายเทไม่สะดวก

3. สายควบ (Multiple Conductors) ในวงจรที่มีการใช้ไฟฟ้ามากๆ นั้น พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าเส้นเดียวอาจไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องใช้สายหลายเส้นต่อขนานกันซึ่งเรียกว่า สายควบ สายไฟฟ้าที่เดินควบกันปลายทั้งสองด้านของเฟสเดียวกันต้องต่อเข้าด้วยกัน

ข้อกำหนดสำหรับการใช้สายควบ มีดังนี้

- ใช้กับตัวนำที่มีขนาดตั้งแต่ 50 MM^2 ขึ้นไป
- สายไฟฟ้าที่จะเดินควบกันได้จะต้องเป็นสายไฟฟ้าชนิดเดียวกัน

- สายไฟฟ้าที่ใช้ต้องมีความยาวเท่ากัน
- ลักษณะการเดินสายไฟฟ้าเหมือนกัน

4. แรงดันตก (Voltage Drop) คือ ความแตกต่างระหว่างขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จุดแหล่งจ่ายต้นทางและจุดรับไฟฟ้า เกิดจากการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟฟ้าที่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายไฟฟ้าเอง

แรงดันตกเป็นปัญหาที่สำคัญ เมื่อมีการใช้สายไฟฟ้าที่มีความยาวมากๆ ซึ่งมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟสว่างไม่เต็มที่ หรือไม่สามารถจุดหลอดได้กรณีที่เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ Starter ช่วยจุดหลอด มอเตอร์ไม่มีแรงหมุน หรือไหม้ เป็นต้น

ตามมาตรฐาน NEC กำหนดไว้ว่า

- แรงดันตกจากสายประธานจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) มีค่าไม่เกิน 5%
- แรงดันตกในสายป้อน (Feeder) มีค่าไม่เกิน 2%
- แรงดันตกในวงจรย่อย (Branch Circuit) มีค่าไม่เกิน 3%

ในการเลือกชนิดและขนาดของสายไฟฟ้าขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน สายไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไปภายในอาคารเป็นชนิดตัวนำทองแดงหุ้มด้วยฉนวนพีวีซี ที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 11-2531 ในการติดตั้งระบบไฟฟ้าภายในอาคารส่วนใหญ่จะใช้ตามข้อกำหนดการใช้สายตามตาราง

ข้อกำหนดการใช้สายไฟฟ้า

ชนิดของสาย	ชื่อเรียก	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด	ลักษณะการติดตั้ง
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน และเปลือก แกนเดียว สายแบน 2 แกน และสายแบน 3 แกน	VAF	300 V	สายกลม - เดินลอย - เดินเกาะผนัง - เดินซ่อนในผนัง - เดินในท่อร้อยสาย - ห้ามร้อยท่อฝังดิน หรือฝังดินโดยตรง สายแบน - เดินเกาะผนัง - เดินซ่อนในผนัง - ห้ามเดินในท่อร้อยสาย - ห้ามร้อยท่อฝังดิน หรือฝังดินโดยตรง

ข้อกำหนดการใช้สายไฟฟ้า (ต่อ)

ชนิดของสาย	ชื่อเรียก	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด	ลักษณะการติดตั้ง
สายแบน 2 แกน และ 3 แกน มีสายดิน	VAF-G	300 V	- เดินลอย - เดินเกาะผนัง - เดินซ่อนในผนัง - ห้ามเดินในท่อร้อยสาย - ห้ามร้อยท่อฝังดิน หรือฝังดินโดยตรง
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนแกนเดียว	THW	750 V	- เดินลอยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน - เดินในท่อร้อยสายในสถานที่แห้ง - ห้ามร้อยท่อฝังดิน หรือฝังดินโดยตรง
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน และเปลือก แกนเดียว	NYY	750 V	- ใช้งานได้ทั่วไป - เดินร้อยท่อฝังดิน - ฝังดินโดยตรง
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน เปลือกใน และเปลือกนอก หลายแกน	NYY	750 V	- ใช้งานได้ทั่วไป - เดินร้อยท่อฝังดิน - ฝังดินโดยตรง
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน เปลือกใน และเปลือกนอก 3 แกน มีสายนิวทรัล	NYY-N	750 V	- ใช้งานได้ทั่วไป - เดินร้อยท่อฝังดิน - ฝังดินโดยตรง
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน เปลือกใน และเปลือกนอก หลายแกน มีสายดิน	NYY-G	750 V	- ใช้งานได้ทั่วไป - ฝังดินโดยตรง

ตารางแสดงพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้าชนิดต่างๆ

ขนาดสาย (ตร.มม.)	พื้นที่ภาคตัดขวางรวมฉนวน และเปลือก (ตร.มม.)					
	ชนิดของสายไฟฟ้า					
	THW	NYY 1-C	NYY 2-C	NYY 3-C	NYY 4-C	NYY-N
0.5	7.1	-	-	-	-	-
1.0	8.1	58.1	113	123	143	-
1.5	10.2	63.6	123	133	154	-
2.5	12.6	75.4	154	177	201	-
4	18.1	86.6	189	214	241	-
6	26.4	95	227	255	284	284
10	40.7	113	299	330	415	415
16	55.4	133	398	471	552	552
25	86.6	165	573	638	755	755
35	104	201	684	779	962	962
50	143	227	882	1,018	1,225	1,225
70	189	284	1,134	1,288	1,555	1,555
95	254	363	1,419	1,662	2,083	2,083
120	299	416	1,698	2,003	2,463	2,463
150	363	531	2,124	2,463	3,019	3,019
185	452	616	2,552	2,970	3,632	3,632
240	573	779	3,217	3,739	4,596	4,596
300	707	962	3,904	4,536	5,675	5,675
400	881	1,164	-	-	-	-
500	1,134	1,452	-	-	-	-

5.2 ท่อประเภทต่างๆ

5.2.1 ท่อโลหะหนา (Rigid Metal Conduit) ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit) และท่อโลหะบาง (Electrical Metallic Tubing)

เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสีเหมือนกัน แต่มีข้อแตกต่างที่ความหนาของผนังท่อ เพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้งาน ท่อชนิดโลหะหนาเป็นท่อที่มีความหนามากที่สุด ทั้งท่อโลหะหนา และท่อโลหะหนาปานกลางเป็นท่อที่ทำเกลียวได้ทั้งสองอย่าง และมีลักษณะการใช้งานที่สามารถทดแทนกันได้ ข้อกำหนดการใช้งาน และการติดตั้งท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง และท่อโลหะบาง มีดังนี้

5.2.1.1 การใช้งาน

ท่อโลหะนี้ใช้กับงานเดินสายทั่วไป ปกติใช้ได้ทั้งในสถานที่แห้ง ชื้น และเปียก การติดตั้งต้องให้เหมาะสมกับสภาพที่ใช้งาน การนำท่อโลหะหนา หรือท่อโลหะหนาปานกลางเดินฝังดินต้องเพิ่มความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากสังกะสีที่เคลือบอยู่อาจหลุดออกได้หลังจากการติดตั้งไม่นาน โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความชื้นแฉะมากๆ เมื่อท่อเป็นสนิมก็จะผุกร่อนในที่สุด การติดตั้งที่ดีควรมีการป้องกันอีกชั้นหนึ่ง เช่น การทาสี เคลือบด้วยสารออร์แกนิก หรือ หุ้มด้วยคอนกรีต เป็นต้น

5.2.1.2 ขนาด

1. ขนาดเล็กสุด ท่อต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 15 มม. (1/2 นิ้ว)

2. ขนาดใหญ่สุด ท่อโลหะบาง และท่อโลหะหนาปานกลางต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุดไม่เกิน 100 มม. (4 นิ้ว) ถ้าเป็นท่อโลหะหนาต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุดไม่เกิน 150 มม. (8 นิ้ว)

5.2.1.3 จำนวนสายไฟฟ้า จำนวนสายไฟฟ้าในท่อร้อยสายต้องไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 4

5.2.1.4 ขนาดกระแส ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าใช้ค่าตามตารางที่ 5 หรือตารางที่ 6

5.2.1.5 การติดตั้ง

1. ในสถานที่เปียก ท่อโลหะและส่วนประกอบที่ใช้ยึดท่อโลหะเช่น โบลต์ สกรู ฯลฯ ต้องเป็นชนิดที่ทนต่อการผุกร่อนได้

2. เมื่อทำการตัดปลายท่อออกต้องลบคม เพื่อป้องกันไม่ให้บาดฉนวนของสาย ในการทำเกลียวท่อต้องใช้เครื่องทำเกลียวชนิดปลายเรียว เกลียวชนิดนี้เมื่อหมุนข้อต่อเข้าไปจะแน่นขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะเป็นผลให้มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี การต่อท่อในอิฐก่อ หรือ คอนกรีต หากใช้ข้อต่อชนิดไม่มีเกลียวต้องใช้ชนิดฝังในคอนกรีต (Concretetight) เมื่อติดตั้งในสถานที่เปียกต้องใช้ชนิดกันฝน

3. การต่อสาย ให้ต่อได้เฉพาะในกล่องต่อสาย หรือกล่องต่อจุดไฟฟ้าที่สามารถเปิดออกได้สะดวก ปริมาณของสาย และฉนวนรวมทั้งหัวต่อสาย เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 75% ของปริมาตรภายในกล่องต่อสาย หรือ กล่องต่อจุดไฟฟ้า

4. การติดตั้งท่อร้อยสายเข้ากับกล่องต่อสาย หรือเครื่องประกอบการเดินท่อต้องมีบุชชิ่งเพื่อป้องกันมิให้ฉนวนหุ้มสายชำรุด นอกเสียจากว่า กล่องต่อสาย และเครื่องประกอบการเดินท่อได้มีการออกแบบ เพื่อป้องกันการชำรุดของฉนวนไว้แล้ว

5. ท่อโลหะบาง ห้ามทำเกลียว เพราะการทำเกลียวจะทำให้ท่อขาดได้

6. มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา เพราะอาจดึงสายไม่เข้า หรือถ้าดึงสายเข้าไปได้ก็จะดึงออกมาไม่ได้ เป็นผลให้การบำรุงรักษาทำได้ยาก หรือ ทำไม่ได้

7. ห้ามใช้ท่อโลหะบางฝังดินโดยตรง หรือใช้ระบบไฟฟ้าแรงสูง หรือที่ซึ่งอาจเกิดความเสียหายหลังการติดตั้งได้

5.2.2 ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metallic Conduit)

นิยมเดินเข้าเครื่องจักร หรือโคมไฟ เนื่องจากสามารถโค้งงอได้สะดวกตามความต้องการใช้งาน และยังใช้งานได้ดีกับเครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือน จึงนิยมใช้งานในช่วงความยาวสั้นๆ ตรงจุดที่ต่อท่อเข้าเครื่องจักร แต่เนื่องจากเป็นท่อที่ไม่กันน้ำในการใช้งาน จึงต้องคำนึงถึงเรื่องดังกล่าวเป็นสำคัญ ข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

5.2.2.1 การใช้งาน

ท่อชนิดนี้ให้ใช้ในสถานที่แห้ง เข้าถึงได้ และเพื่อป้องกันสายจากความเสียหายทางกายภาพ หรือเพื่อการเดินซ่อนสาย

5.2.2.2 ห้ามใช้ ในกรณีต่อไปนี้

1. ในปล่องลิฟต์ หรือปล่องขนของ
2. ในห้องแบตเตอรี่ เพราะอาจผุกร่อนได้เนื่องจากไอกรด
3. บริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น
4. ฝังดิน หรือ ฝังในคอนกรีต
5. ในสถานที่เปียก นอกจากจะใช้สายไฟชนิดที่เหมาะสมกับสภาพการติดตั้ง ในการติดตั้งท่อโลหะอ่อนต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในช่องเดินสาย (ได้แก่ ท่อร้อยสาย หรือ รางเดินสาย)
6. ท่อโลหะอ่อนที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม. (1/2 นิ้ว) ยกเว้นท่อโลหะอ่อนที่ประกอบมากับขั้วหลอดไฟฟ้า และความยาวไม่เกิน 2.0 เมตร

5.2.2.3 จำนวนสายไฟฟ้า ต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 4

5.2.2.4 การติดตั้ง มุดดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันต้องไม่เกิน 360 องศา และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์จับยึดต้องไม่เกิน 1.50 เมตร และห่างจากกล่องต่อสาย หรืออุปกรณ์ต่างๆ ไม่เกิน 0.30 เมตร

5.2.3 ท่อโลหะอ่อนกันของเหลว (Liquidtight Flexible Metal Conduit)

ท่อโลหะอ่อนกันของเหลวต่างจากท่อโลหะอ่อนทั่วไปคือ ห่อหุ้มด้วยสายพีวีซี หรือ พีอีอีกชั้นหนึ่งเพื่อกันน้ำหรือของเหลว เนื่องจากสายที่หุ้มนี้จะมีอุณหภูมิใช้งานอยู่ค่าหนึ่ง ในการใช้งานจึงต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิโดยรอบ หรืออุณหภูมิใช้งานของสายไฟฟ้าสูงเกินอุณหภูมิใช้งานของท่อ เช่น ท่อมีอุณหภูมิ 70°C จะนำไปใช้ร้อยท่อไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิใช้งาน 90°C ไม่ได้ แต่ถ้าจะใช้ก็ต้องลดค่าขนาดกระแสลงมาให้อุณหภูมิที่สายไม่เกิน 70°C

5.2.3.1 การใช้งาน

ท่อชนิดนี้ใช้ในที่ซึ่งสภาพการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาต้องการความอ่อนตัวของท่อ หรือเพื่อป้องกันของแข็ง หรือไอ หรือในสถานที่อันตราย

5.2.3.2 ห้ามใช้

ในที่ซึ่งอาจได้รับความเสียหายทางกายภาพ และที่ซึ่งอุณหภูมิของสาย และอุณหภูมิโดยรอบสูงจนทำให้ท่อเสียหาย ในข้อนี้สายไฟที่ใช้ต้องมีอุณหภูมิใช้งานไม่เกินอุณหภูมิของท่อที่ทนได้

5.2.3.3 ขนาด

ท่อนี้ยอมให้ใช้ได้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 15 มม. และไม่ใหญ่กว่า 100 มม.

5.2.3.4 จำนวนสายไฟฟ้า

จำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 4

5.2.3.5 การติดตั้ง

มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา และต้องติดตั้งระบบท่อให้เสร็จเสียก่อน จึงทำการเดินสายไฟ

5.2.4 ท่ออโลหะแข็ง (Rigid Nonmetallic Conduit)

ท่อชนิดนี้มีใช้งานอยู่ทั่วไป ได้แก่ ท่อพีวีซี (PVC) และท่อพีอี (PE) ท่อพีวีซีมีคุณสมบัติในการต้านเปลวเพลิง แต่มีข้อเสียที่เมื่อไหม้ไฟจะมีก๊าซที่เป็นพิษต่อบุคคลออกมา และไม่คงทนต่อแสงอัลตาไวโอเลต ทำให้กรอบเมื่อถูกแสงแดดนานๆ สำหรับท่อพีอีเป็นท่อที่ไฟลุกลามได้ แต่มีความคงทนต่อแสงอัลตาไวโอเลต จึงเหมาะที่จะใช้ติดตั้งภายนอกอาคาร โดยต้องฝังอยู่ในคอนกรีต หรือฝังดิน

ท่ออโลหะและเครื่องประกอบการเดินท่อต้องใช้วัสดุที่เหมาะสม ทนต่อความชื้น สภาวะอากาศและสารเคมี ทนแรงกระแทกและแรงอัด ไม่บิดเบี้ยวเพราะความร้อนที่อาจเกิดขึ้นเมื่อใช้งาน ท่อที่มีโอกาสถูกแสงแดดโดยตรงต้องใช้ท่อชนิดทนแสงแดดได้ ท่อที่ใช้เหนือดินต้องมีคุณสมบัติต้านเปลวเพลิง ท่อที่ใช้

ใต้ดินต้องมีคุณสมบัติทนความชื้น ทนสารที่ทำให้ผุกร่อน และต้องมีความแข็งแรงพอที่จะทนแรงกระแทกได้ ถ้าใช้ฝังดินโดยตรงไม่มีคอนกรีตหุ้ม วัสดุที่ใช้ต้องสามารถทนน้ำหนักกดที่อาจเกิดขึ้นหลังการติดตั้ง

5.2.4.1 การใช้งาน

1. เดินซ่อนในผนัง พื้น และเพดาน

2. ในบริเวณที่ทำให้เกิดการผุกร่อน และมีสารเคมี ถ้าท่อและเครื่องประกอบการเดินท่อได้ออกแบบไว้สำหรับใช้งานตามสภาพดังกล่าว

3. ในที่เปียก หรือชื้น ซึ่งได้จัดให้มีการป้องกันน้ำเข้าไปในท่อ

4. ในที่โล่ง ซึ่งไม่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ

5. การติดตั้งใต้ดิน ควรดูข้อกำหนดในเรื่องการติดตั้งใต้ดินประกอบด้วย

5.2.4.2 ห้ามใช้ ในกรณีต่อไปนี้

1. ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

2. ใช้เป็นเครื่องแขวน และจับยึดดวงโคม

3. อุณหภูมิโดยรอบ หรืออุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าอุณหภูมิของท่อที่ระบุไว้

4. ท่อที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มม.

5.2.4.3 จำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 4

5.2.4.4 การติดตั้ง

มุมดัดโค้งระหว่างจุดดึงสายรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 360 องศา เมื่อเดินท่อเข้ากล่อง หรือส่วนประกอบอื่นๆ ต้องจัดให้มีบุชชิ่ง หรือป้องกันไม่ให้ฉนวนของสายชำรุด

5.2.5 ท่ออโลหะบนพื้นผิว (Surface nonmetallic Raceway)

ท่อชนิดนี้ทำด้วยวัสดุทนความชื้น ทนบรรยากาศที่มีสารเคมี ไม่ติดไฟ ทนแรงกระแทก ไม่บิดเบี้ยวจากความร้อนในสภาวะการใช้งาน และสามารถใช้ในที่อุณหภูมิต่ำได้

5.2.5.1 การใช้งาน

อนุญาตให้ใช้ในสถานที่แห้งเท่านั้น

5.2.5.2 ห้ามใช้ ในกรณีต่อไปนี้

1. ในที่ซ่อน

2. ในที่ซึ่งอาจเกิดความเสียหายทางกายภาพได้

3. ในระบบแรงสูง

4. ในปล่องขนของ หรือปล่องลิฟต์

5. ในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

6. ในที่ซึ่งอุณหภูมิโดยรอบ หรืออุณหภูมิใช้งานของสายเกินกว่าอุณหภูมิที่ระบุไว้

5.2.5.3 จำนวนสายไฟ

จำนวนสายไม่เกินที่กำหนดโดยผู้ผลิต หากไม่มีข้อมูลพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายไม่ควรเกิน 20% ของพื้นที่หน้าตัดในช่องเดินสาย

5.2.5.4 ขนาดกระแส

ให้ใช้ขนาดกระแสตามตารางที่ 5-3 กรณีท่ออโลหะ และไม่ต้องใช้ค่าตัวคูณลดกระแสเนื่องจากมีสายหลายเส้น ถ้าพื้นที่หน้าตัดของช่องเดินสายมากกว่า 2,580 ตร.มม. จำนวนตัวนำที่มีกระแสไหลในช่องเดินสายไม่เกิน 30 เส้น และพื้นที่หน้าตัดของตัวนำรวมฉนวนและเปลือกไม่เกิน 20% ของพื้นที่หน้าตัดภายในช่องเดินสาย

5.2.5.5 การติดตั้ง

ห้ามต่อตรงจุดที่ผ่านผนัง หรือพื้น และปลายของช่องเดินสายต้องปิด

5.2.5.6 การต่อสาย

ทำได้เฉพาะในส่วนที่สามารถเปิดออก เข้าถึงได้ตลอดเวลาเท่านั้น พื้นที่หน้าตัดของสายและฉนวน รวมทั้งหัวต่อสายเมื่อรวมกันต้องไม่เกิน 75% ของพื้นที่หน้าตัดช่องเดินสาย ณ จุดต่อสาย

5.2.6 รางเดินสาย (Wireway)

รางเดินสายมีลักษณะเป็นเหล็กแผ่นพับขึ้นรูป และมีฝาปิด มีช่องระบายอากาศ หรือไม่มีก็ได้ มีการป้องกันการผุกร่อนด้วยการทาสี หรือชุบสังกะสี นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีราคาถูก สามารถทำได้สะดวก และเดินสายไฟได้จำนวนมากในรางเดียวกัน

5.2.6.1 การใช้งาน

ต้องติดตั้งในที่เปิดโล่งเท่านั้น ถ้าติดตั้งบนฝ้าเพดาน หรือในพื้นที่ปิดจะต้องสามารถเข้าถึงได้ เพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ตลอดความยาวของรางเดินสายภายหลังการติดตั้ง แต่ยอมให้ติดตั้งอยู่ใน หรือหลังแผงสวิตช์ หรือแผงจ่ายไฟได้ รางที่ติดตั้งภายนอกอาคารต้องเป็นชนิดกันฝน มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่เสียรูปทรงภายหลังการติดตั้ง

5.2.6.2 ห้ามใช้

ในบริเวณที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ ในบริเวณที่มีไอที่ทำให้ผุกร่อน หรือในบริเวณอันตราย นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

5.2.6.3 จำนวนสายไฟ

พื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายในรางเดินสายต้องไม่เกิน 20% ของพื้นที่หน้าตัดภายในรางเดินสาย

5.2.6.4 ขนาดกระแส

ให้ใช้ค่ากระแสตามตารางที่ 5-3 และ 6-2 และไม่ต้องใช้ค่าตัวคูณลดกระแส เนื่องจากมีสายหลายเส้น ถ้าจำนวนตัวนำที่มีกระแสโหลดไม่เกิน 30 เส้น

5.2.6.5 การติดตั้ง

1. รางเดินสายต้องมีการรองรับอย่างแน่นหนา ระยะห่างระหว่างจุดรองรับต้องไม่เกิน 1.50 เมตร กรณีที่จำเป็นระยะห่างอาจมากกว่าก็ได้ แต่ต้องไม่เกิน 3.0 เมตร ในทุกกรณี

2. ห้ามต่อตรงจุดที่ผ่านผนัง หรือพื้น และจุดปลายทางของรางเดินสายต้องปิด

3. ในแนวดิ่งต้องจับยึดทุกระยะไม่เกิน 4.50 เมตร ห่างจากปลายรางไม่เกิน 1.50 เมตร และระหว่างจุดจับยึดต้องมีจุดต่อไม่เกิน 1 จุด สายต้องมีการจับยึดตามตารางที่ 1

5.2.6.6 การต่อสาย

ทำได้เฉพาะส่วนที่สามารถเปิดออกเข้าถึงได้สะดวก พื้นที่หน้าตัดของสายและฉนวนรวมทั้งหัวต่อสายเมื่อรวมกันต้องไม่เกิน 75% ของพื้นที่หน้าตัดภายในของรางเดินสาย ณ จุดต่อสาย

ตารางที่ 4
พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ

จำนวนสายในท่อร้อยสาย	1	2	3	4	มากกว่า 4
สายไฟทุกชนิดยกเว้นสายชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	53	31	40	40	40
สายไฟชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	55	30	40	38	35

ตารางที่ 5-1

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซีตามมอก. 11-2531

อุณหภูมิตัวนำ 70° C ขนาดแรงดัน 300 หรือ 750 โวลต์ อุณหภูมิโดยรอบ 40° C สำหรับวิธีการเดินสาย ก-ค และ 30° C สำหรับวิธีการเดินสาย ง และ จ

ขนาดของสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)						
	วิธีการเดินสาย (หมายเหตุ 1)						
	ก	ข	ค		ง		จ
			ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	
0.5	9	8	8	7	10	9	-
1	14	11	11	10	15	13	21
1.5	17	15	14	13	18	16	26
2.5	23	20	18	17	24	21	34
4	31	27	24	23	32	28	45
6	42	35	31	30	42	36	56
10	60	50	43	42	58	50	75
16	81	66	56	54	77	65	97
25	111	89	77	74	103	87	125
35	137	110	95	91	126	105	150
50	169	-	119	114	156	129	177
70	217	-	148	141	195	160	216
95	271	-	187	180	242	200	259
120	316	-	214	205	279	228	294
150	364	-	251	236	322	259	330
185	424	-	287	269	370	296	372
240	509	-	344	329	440	352	431
300	592	-	400	373	508	400	487
400	696	-	474	416	699	455	552
500	818	-	541	469	684	516	623

ตารางที่ 5-2

ชนิดของตัวนำ และรูปแบบการติดตั้ง

วิธีการเดินสาย	ชนิดของตัวนำ และรูปแบบการติดตั้ง
ก	สายแกนเดียวหุ้มฉนวนเดินในอากาศ
ข	สายแบบหุ้มฉนวนมีเปลือกเดินเกาะผนัง
ค	สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน
	3 แกน เดินในท่อในอากาศ ในท่อฝังในผนังปูนฉาบ หรือในท่อในฝ้าเพดาน
ง	สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน
	3 แกน เดินในท่อฝังดิน
จ	สายแกนเดียวหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือก
	ไม่เกิน 3 แกน ฝังดินโดยตรง

ตารางที่ 5-3

อุณหภูมิโดยรอบต่างจาก 40° C (สำหรับวิธีการเดินสาย ก - ค)

หรือ 30° C (สำหรับการเดินสาย ง และ จ) ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณดังนี้

อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	ตัวคูณ	
	วิธีการเดินสาย ก – ค (การเดินสายในอากาศ)	วิธีการเดินสาย ง - จ (การเดินสายใต้ดิน)
21-25	-	1.06
26-30	-	1
31-35	1.08	0.94
36-40	1	0.87
41-45	0.91	0.79
46-50	0.82	0.71
51-55	0.71	-
56-60	0.58	-

ตารางที่ 6-1

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงค์โพลีเอททีลีน อุณหภูมิตัวนำ 90° C ขนาดแรงดัน 600 โวลต์ อุณหภูมิโดยรอบ 40° C สำหรับการเดินสายในอากาศ และ 30° C สำหรับการเดินสายใต้ดิน

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)				
	วิธีการเดินสาย				
	ก	ข	ค		ง
	สายแกนเดียว เดินในอากาศ	สายแกนเดียว 3 เส้น เดินในท่อโลหะ ในอากาศ	สายแกนเดียว 3 เส้น เดินในท่อฝังดิน		สายแกนเดียว ไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหลายแกน ฝังดินโดยตรง
			ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	
2.5	36	25	31	28	44
4	47	33	41	36	57
6	60	42	52	46	71
10	82	56	70	61	94
16	110	76	93	81	122
25	148	100	123	107	156
35	184	123	151	130	187
50	224	153	184	156	221
70	286	191	230	197	270
95	356	239	285	241	325
120	417	275	329	277	368
150	481	322	380	318	413
185	559	368	436	363	466
240	672	440	518	430	539
300	782	510	615	501	607
400	921	604	734	586	687
500	1080	686	855	685	773

ตารางที่ 6-2

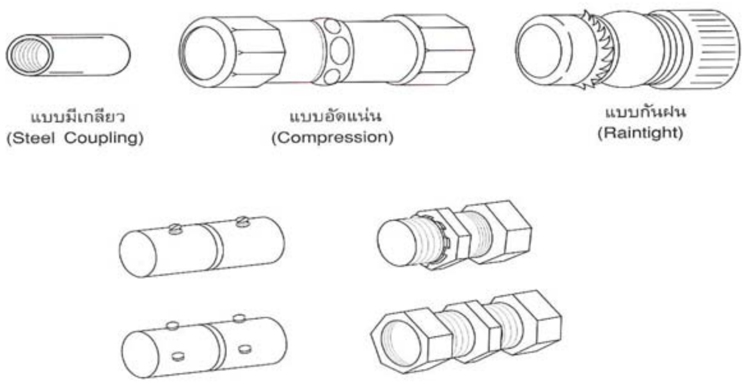
อุณหภูมิโดยรอบต่างจาก 40° C สำหรับการเดินสายในอากาศ หรือ 30° C สำหรับการเดินสายใต้ดิน ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณดังนี้

อุณหภูมิโดยรอบตัว	ตัวคูณ	
(องศาเซลเซียส)	วิธีการเดินสาย ก - ข	วิธีการเดินสาย ค - ง
	(การเดินสายในอากาศ)	(การเดินสายใต้ดิน)
21-25	-	1.04
26-30	-	1
31-35	1.05	0.96
36-40	1	0.91
41-45	0.95	0.87
46-50	0.89	0.82
51-55	0.84	-
56-60	0.78	-

ตารางที่ 7
แสดงพื้นที่ภาคตัดขวางภายในของท่อร้อยสายไฟฟ้า
(ท่อร้อยสายไฟฟ้าที่ผลิตตาม มอก. 770-2531)

ขนาดของท่อ (มม.)	พื้นที่ภาคตัดขวางภายใน (ตร.มม.)		
	ท่อโลหะบาง	ท่อโลหะหนาปานกลาง	ท่อโลหะหนา
15	195	230	201
20	343	390	355
25	555	637	572
32	967	1091	986
40	1313	1467	1338
50	2164	2382	2196
65	3776	3367	3137
80	5706	5175	4837
90	7447	6907	6458
100	9520	8871	8309
125	-	-	13041
150	-	-	18786

อุปกรณ์ประกอบการติดตั้งท่อร้อยสาย



รูปแสดงอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งท่อร้อยสาย

5.3 จำนวนสายไฟฟ้าที่เดินในท่อร้อยสาย

ในการเดินสายไฟฟ้ามีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่วัตถุประสงค์ในการใช้งานของผู้ใช้และต้องตรงตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ ในการเดินสายในท่อจำนวนสายไฟฟ้าต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ในตาราง

ตารางที่ 8 จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกัน มอก 11-2531 (THW) ที่ให้ใช้ในท่อโลหะตาม มอก 770-2533

พื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า (ตารางมิลลิเมตร)	จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย											
1	7	13	20	33	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	6	11	17	28	44	-	-	-	-	-	-	-
2.5	4	8	13	22	34	-	-	-	-	-	-	-
4	3	5	9	15	23	36	-	-	-	-	-	-
6	2	4	7	12	19	29	-	-	-	-	-	-
10	1	3	4	7	12	19	32	-	-	-	-	-
16	1	1	3	5	9	14	23	36	-	-	-	-
25	1	1	1	3	5	9	15	23	29	-	-	-
35	-	1	1	3	4	7	12	19	24	30	-	-
50	-	-	1	1	3	5	9	14	17	21	34	-
70	-	-	1	1	2	4	7	10	13	16	26	37
95	-	-	1	1	1	3	5	7	10	12	19	27
120	-	-	-	1	1	2	4	6	8	10	16	23
150	-	-	-	1	1	1	3	5	7	8	13	19
185	-	-	-	-	1	1	2	4	5	6	10	15
240	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	8	12
300	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6	10
400	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	8
500	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	4	6
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย (มม.)	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150

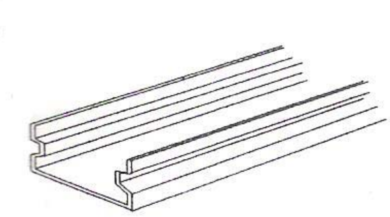
ตารางที่ 9 จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกัน มอก 11-2531 (NYY) ที่ให้ใช้ในท่อโลหะตาม มอก 770-2533

พื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า (ตารางมิลลิเมตร)	จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย											
1	1	1	3	5	8	12	21	33	-	-	-	-
1.5	1	1	2	4	7	11	19	30	-	-	-	-
2.5	1	1	2	4	7	10	17	26	33	-	-	-
4	1	1	1	3	6	9	15	23	29	36	-	-
6	-	1	1	3	5	8	13	21	26	33	-	-
10	-	1	1	2	4	6	11	17	22	27	-	-
16	-	1	1	1	3	5	10	15	19	23	36	-
25	-	1	1	1	3	4	8	12	15	19	29	-
35	-	-	1	1	1	3	6	10	12	15	24	35
50	-	-	1	1	1	3	5	8	11	13	21	31
70	-	-	-	1	1	2	4	7	8	11	17	24
95	-	-	-	1	1	1	3	5	7	8	13	19
120	-	-	-	1	1	1	3	4	6	7	11	17
150	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	9	13
185	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	7	11
240	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6	9
300	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	7
400	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	4	6
500	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	3	4
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร้อยสาย (มม.)	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150

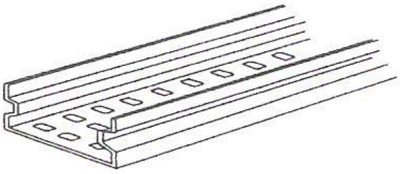
5.4 การเดินสายไฟฟ้าด้วยรางเคเบิล (Cable Tray)

รางเคเบิล (Cable Tray) แบ่งออกเป็น 3 แบบใหญ่ๆ คือ

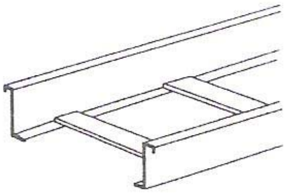
1. รางเคเบิลแบบบันได นิยมเรียกว่า Ladder
2. รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ
3. รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ ซึ่งต่างจากแบบที่ 2 ตรงที่ไม่มีช่องระบายอากาศเท่านั้น



รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ



รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ

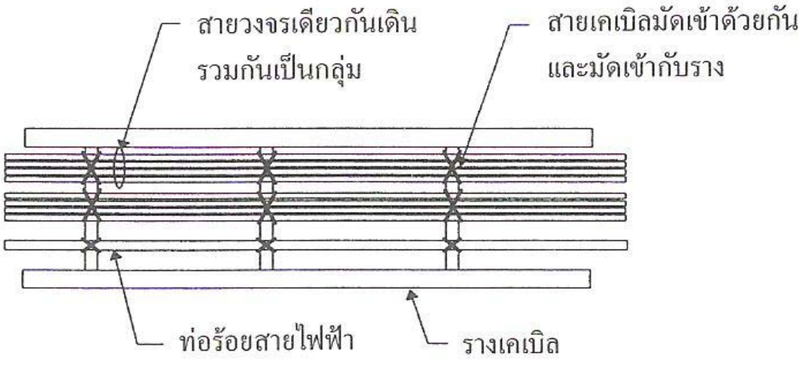


รางเคเบิลแบบบันได

การติดตั้งรางเคเบิล

มีข้อกำหนดดังนี้

1. รางเคเบิลต้องยาวต่อเนื่องตลอดทั้งทางกล และทางไฟฟ้า
2. สายที่ติดตั้งบนรางเคเบิลเมื่อเดินแยกเข้าช่องเดินสายอื่น ต้องมีการจับยึดให้มั่นคงด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม
3. ห้ามติดตั้งสายเคเบิลระบบแรงต่ำในรางเคเบิลเดียวกันกับสายเคเบิลระบบแรงสูง นอกจากจะกั้นด้วยแผงกั้นที่แข็งแรง และไม่ติดไฟ
4. รางเคเบิลต้องติดตั้งในที่เปิดเผย เข้าถึงได้ และมีที่ว่างพอเพียงที่จะปฏิบัติงานบำรุงรักษาสายเคเบิลได้สะดวก
5. เมื่อเดินสายเคเบิลแกนเดียว สายเส้นไฟ และเส้นศูนย์ของแต่ละวงจรต้องเดินรวมกันเป็นกลุ่ม สายต้องมัดเข้าด้วยกัน เพื่อป้องกันกระแสไม่สมดุล เนื่องจากการเหนี่ยวนำ และป้องกันการเคลื่อนตัวอย่างรุนแรงเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร
6. การต่อสายในรางเคเบิลต้องทำให้ถูกต้องตามวิธีการต่อสาย จุดต่อสายต้องอยู่ภายในรางเคเบิล และไม่สูงเลยขอบด้านข้างของรางเคเบิล



รูปแสดงสายเคเบิลต้องเดินรวมเป็นกลุ่ม และมัดเข้ากับรางเคเบิล

5.5 การเลือกชนิดรางเคเบิลสำหรับเดินสายไฟฟ้า

รางเคเบิลส่วนใหญ่ไม่มีฝาปิด ในการใช้งานบางสถานที่อาจออกแบบให้มีฝาปิดก็ได้ แต่ต้องมีผนังด้านข้าง รางเคเบิลที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายคือ แบบบันได และ แบบมีช่องระบายอากาศ

5.5.1 ชนิดของสาย และอุปกรณ์ที่อนุญาตให้ติดตั้งในรางเคเบิล

1. สายเคเบิลชนิด MI (Mineral-Insulated , Metal-Sheathed Cable)
2. สายเคเบิลชนิด MC (Metal-Clad Cable)
3. สายเคเบิลชนิด AC (Armored Cable)
4. สายเคเบิลแกนเดียวชนิดมีฉนวน และเปลือกนอก ขนาดไม่เล็กกว่า 50 ตร.มม. เช่น NYY
5. สายเคเบิลชนิดหลายแกนในระบบแรงต่ำทุกขนาด
6. สายอื่นชนิดหลายแกนสำหรับควบคุมสัญญาณต่างๆ (Control Cable)
7. สายเคเบิลแกนเดียวชนิดไม่มีเปลือกนอก ขนาดตัวนำไม่เล็กกว่า 50 ตร.มม. เช่น THW
8. ท่อสายชนิดอื่นๆ

หมายเหตุ :-

- สายเคเบิลชนิด MI เป็นสายไฟฟ้าชนิดทนไฟมีเปลือกเป็นโลหะ มีฉนวนเป็นแร่แมกนีเซียมออกไซด์
- สายเคเบิลชนิด MC เป็นสายไฟฟ้าที่ภายนอกหุ้มด้วยโลหะ เพื่อป้องกันความเสียหายทางกายภาพ

- สำหรับสายเคเบิลแกนเดียวชนิดไม่มีเปลือกนอก อนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเจ้าหน้าที่ดูแลรับผิดชอบ และต้องติดตั้งในรางเคเบิลแบบบันได ซึ่งมีระยะห่างระหว่างขั้นบันไดไม่เกิน 9 นิ้ว หรือแบบรางมีช่องระบายอากาศ

- ห้ามใช้สาย Crosslink-Polyethylene วางในรางเคเบิลในอาคาร ยกเว้น ร้อยสายในท่อร้อยสายชนิดโลหะ

- ในสถานที่ซึ่งสายมีโอกาสถูกแสงแดดโดยตรง ต้องใช้สายชนิดทนแสดงแดดได้

- ในบริเวณอันตรายต้องใช้สายเฉพาะที่อนุญาตให้ใช้ในบริเวณอันตรายเท่านั้น

- ห้ามใช้รางเคเบิลในปล่องลิฟต์ หรือ สถานที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ

5.5.2 จำนวนสายเคเบิลที่วางบนรางเคเบิล ต้องไม่เกินที่กำหนดต่อไปนี้

1. สายเคเบิลหลายแกน ใช้ได้ทุกขนาด และวางบนรางเคเบิลได้ทั้งแบบบันได แบบมีช่องระบายอากาศ และแบบด้านล่างทึบ จำนวนสายเคเบิลเป็นดังนี้

1.1 รางเคเบิลแบบบันได หรือ แบบมีช่องระบายอากาศ

- สายเคเบิลขนาดตั้งแต่ 95 ตร.มม. ขึ้นไป ผลรวมของเส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวนและเปลือกของสายทั้งหมดต้องไม่เกินขนาดความกว้างของรางเคเบิล และให้วางเรียงชั้นเดียวเท่านั้น

- สายเคเบิลที่มีขนาดเล็กกว่า 95 ตร.มม. ผลรวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายต้องไม่มากกว่าพื้นที่สูงสุดที่ยอมให้วางสายได้ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 10 ช่องที่ 1

- สายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 95 ตร.มม. ขึ้นไป วางรวมกับสายเคเบิลขนาดเล็กกว่า 95 ตร.มม. ผลรวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายที่มีขนาดเล็กกว่า 95 ตร.มม. ทั้งหมดต้องไม่เกินพื้นที่สูงสุดที่ยอมให้วางสายได้ตามที่กำหนดในตารางที่ 10 ช่องที่ 2 และสายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 95 ตร.มม. ขึ้นไป ต้องวางเรียงกันโดยไม่มีสายอื่นมาวางทับ

- สายเคเบิลหลายแกนสำหรับควบคุม และ / หรือ เคเบิลสัญญาณ วางในรางเคเบิลแบบบันได หรือ แบบมีช่องระบายอากาศ ผลรวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายทั้งหมดต้องไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่ภาคตัดขวางภายในของรางเคเบิล สำหรับรางเคเบิลที่มีความลึกมากกว่า 0.15 เมตร ให้ใช้ค่าความลึก 0.15 เมตร ในการคำนวณพื้นที่ภาคตัดขวาง

1.2 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ จำนวนสายเคเบิลหลายแกนต้องเป็นดังนี้

- สายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 95 ตร.มม. ขึ้นไป ผลรวมของเส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวน และเปลือกของสายเคเบิลทั้งหมดต้องไม่เกินร้อยละ 90 ของขนาดความกว้างของรางเคเบิล และให้วางได้ชั้นเดียวเท่านั้น

- สายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 95 ตร.มม. ผลรวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายเคเบิลต้องไม่มากกว่าพื้นที่สูงสุดที่ยอมให้วางสายได้ ตามที่กำหนดในตารางที่ 10 ช่องที่ 3

- สายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 95 ตร.มม. ขึ้นไป วางรวมกับสายเคเบิลขนาดเล็กกว่า 95 ตร.มม. ผลรวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายที่มีขนาดเล็กกว่า 95 ตร.มม. ทั้งหมดต้องไม่เกินพื้นที่สูงสุดที่ยอมให้วางสายได้ตามที่กำหนดในตารางที่ 10 ช่องที่ 4 และสายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 95 ตร.มม. ขึ้นไปต้องวางเรียงกันโดยไม่มีสายเคเบิลอื่นมาวางทับ

- สายเคเบิลหลายแกนสำหรับควบคุม และ / หรือ เคเบิลสัญญาณ วางในรางเคเบิลด้านล่างทึบ ผลรวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายทั้งหมดต้องไม่เกินร้อยละ 40 ของพื้นที่ภาคตัดขวางภายในของรางเคเบิล สำหรับรางเคเบิลที่มีความลึกมากกว่า 0.15 เมตร ให้ใช้ค่าความลึก 0.15 เมตร ในการคำนวณพื้นที่ภาคตัดขวาง

ตารางที่ 10

พื้นที่หน้าตัดสูงสุดสำหรับวางเคเบิลหลายแกนของรางเคเบิลแบบบันได แบบรางมีช่องระบายอากาศ หรือ แบบด้านล่างทึบ สำหรับเคเบิลแรงต่ำ

ความกว้างภายในของรางเคเบิล (มม.)	รางเคเบิลแบบบันได หรือแบบรางมีช่องระบายอากาศ (ตามข้อ 1.1)		รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (ตามข้อ 1.2)	
	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4
	สายขนาดเล็กกว่า 95 ตร.มม. (ตร.มม.)	สายทุกขนาดวางรวมกัน (ตร.มม.)	สายขนาดเล็กกว่า 95 ตร.มม. (ตร.มม.)	สายทุกขนาดวางวางรวมกัน (ตร.มม.)
150	4,500	4,500 – (30.5 sd)	3,500	3,500 – (25.4 sd)
300	9,000	9,000 – (30.5 sd)	7,000	7,000 – (25.4 sd)
450	13,500	13,500 – (30.5 sd)	10,500	10,500 – (25.4 sd)
600	18,000	18,000 – (30.5 sd)	14,000	14,000 – (25.4 sd)
750	22,500	22,500 – (30.5 sd)	17,500	17,500 – (25.4 sd)
900	27,000	27,000 – (30.5 sd)	21,000	21,000 – (25.4 sd)

กำหนดให้ sd = ผลรวมเส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวน และเปลือกของสายเคเบิลหลายแกนทุกเส้นที่มีขนาดตั้งแต่ 95 ตร.มม. ขึ้นไป ซึ่งติดตั้งรวมกับสายเคเบิลที่มีขนาดเล็กกว่าในรางเคเบิลเดียวกัน

2. สายเคเบิลแกนเดียว สายชนิดนี้ให้ใช้ได้กับรางเคเบิลแบบบันได และแบบมีช่องระบายอากาศเท่านั้น ห้ามใช้ วางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ จำนวนสายเคเบิลเป็นดังนี้

- สายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 400 ตร.มม. ขึ้นไป ผลรวมเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวนและเปลือกของสายทั้งหมดต้องไม่เกินขนาดความกว้างของรางเคเบิล
- สายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 120 ตร.มม. จนถึง 300 ตร.มม. ผลรวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวนและเปลือกของสายต้องไม่เกินพื้นที่สูงสุดที่ยอมให้วางสายได้ตามที่กำหนดในตารางที่ 11 ช่องที่ 1
- สายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 50 ตร.มม. จนถึง 95 ตร.มม. ผลรวมเส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวนและเปลือกของสายทั้งหมดต้องไม่เกินขนาดความกว้างของรางเคเบิล และให้วางเรียงได้ชั้นเดียว หรือวางเป็นรูปสามเหลี่ยมเท่านั้น
- สายเคเบิลที่มีขนาดตั้งแต่ 400 ตร.มม. ขึ้นไปวางรวมกับสายเคเบิลขนาดเล็กกว่า 400 ตร.มม. ผลรวมพื้นที่หน้าตัดรวมฉนวน และเปลือกของสายที่มีขนาดเล็กกว่า 400 ตร.มม. ทั้งหมด ต้องไม่เกินพื้นที่สูงสุดที่ยอมให้วางสายได้ตามที่กำหนดในตารางที่ 11 ช่องที่ 2

ตารางที่ 11
พื้นที่หน้าตัดสูงสุดสำหรับรางเคเบิลแกนเดียวของรางเคเบิลแบบบันได หรือแบบมีช่องระบายอากาศ สำหรับเคเบิลแรงต่ำ

ความกว้างภายใน ของรางเคเบิล (มม.)	ช่องที่ 1 สายขนาด 120 ถึง 300 ตร.มม. (ตร.มม.)	ช่องที่ 2 สายทุกขนาดวางรวมกัน (ตร.มม.)
150	4,000	4,000 – (27.9 sd)
300	8,500	8,500 – (27.9 sd)
450	12,500	125 – (27.9 sd)
600	16,500	16,500 – (27.9 sd)
750	21,000	21,000 – (27.9 sd)
900	25,000	25,000 – (27.9 sd)

กำหนดให้ sd = ผลรวมเส้นผ่าศูนย์กลางของเคเบิลแกนเดียวที่มีขนาดตั้งแต่ 400 ตร.มม. ขึ้นไป เป็น มม. ซึ่งติดตั้งรวมกับสายเคเบิลที่มีขนาดเล็กกว่าในรางเคเบิลเดียวกัน

5.6 การต่อลงดิน

การต่อลงดินมีจุดประสงค์เพื่อลดอันตรายที่อาจเกิดกับบุคคล และความเสียหายที่อาจเกิดกับระบบไฟฟ้า หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้า

การต่อลงดินทำหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ

1. เมื่อเกิดแรงดันเกินจะจำกัดแรงดันไฟฟ้าของวงจรไม่ให้สูงจนอาจทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเสียหาย และลดแรงดันไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นที่เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือส่วนประกอบ เนื่องจากการรั่วหรือการเหนี่ยวนำ เพื่อลดอันตรายต่อบุคคลที่อาจไปสัมผัส

2. เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินจะช่วยลดความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้า การต่อลงดินที่ถูกต้องจะช่วยให้เครื่องป้องกันทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

5.6.1 ชนิดของการต่อลงดินสำหรับสายภายในอาคาร

แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)
2. การต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

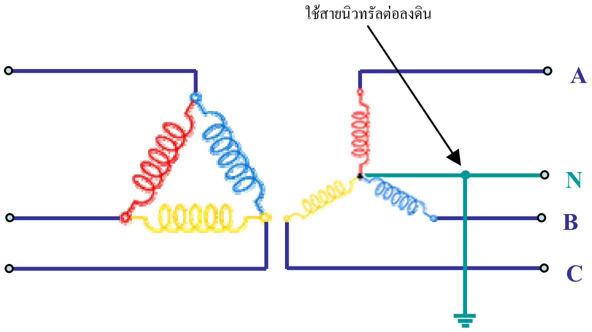
1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)

ระบบไฟฟ้าภายในอาคารต้องต่อลงดิน ผู้ที่ใช้ไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้าฯ ต้องต่อระบบไฟฟ้าลงดิน ทำได้โดยการต่อสายไฟฟ้าลงดิน สายเส้นที่ต่อลงดินต้องเป็นสายเส้นเดียวกับที่การไฟฟ้าฯ ต่อลงดินไว้แล้ว ปกติคือ สายนิวทรัล (Neutral) หากผู้ใช้ไฟฟ้ามีระบบไฟฟ้าของตนเอง เช่น มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือใช้ไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ และมีการตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ามีข้อกำหนดดังนี้

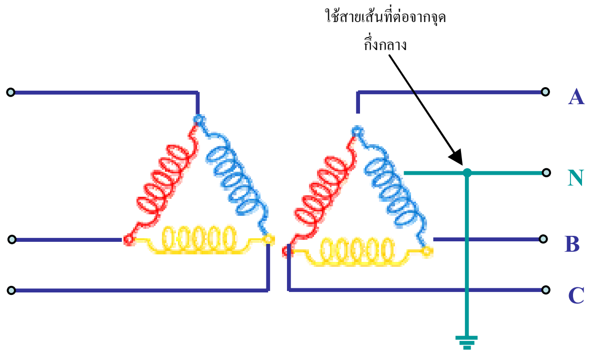
1.1 ระบบไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 50 โวลต์ แต่ไม่ถึง 1000 โวลต์ ต้องต่อลงดินดังต่อไปนี้

1.1.1 เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ซึ่งสายนิวทรัล (Neutral) ใช้เป็นสายเส้นหนึ่งของวงจรด้วย กรณีนี้ให้ใช้สายนิวทรัลเป็นสายต่อลงดิน ดังรูป



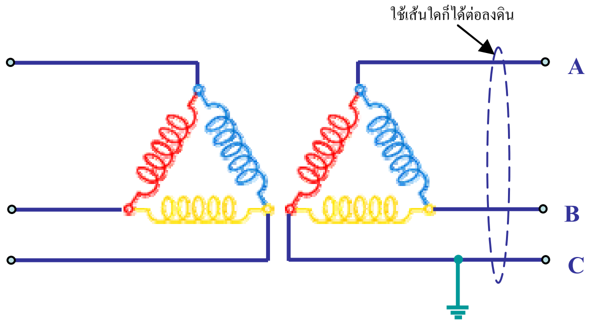
รูปการต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 4 สาย (เดลตา-วาย)

1.1.2 เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย และจุดกึ่งกลางของเฟสใดเฟสหนึ่งใช้เป็นสายวงจรด้วย ให้ใช้เส้นที่ต่อจากจุดกึ่งกลางเป็นเส้นต่อลงดิน ดังรูป



รูปการต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 4 สาย

1.1.3 เป็นระบบ 3 เฟส 3 สาย ให้ใช้สายเฟสใดก็ได้ต่อลงดิน ดังรูป



รูปการต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 3 สาย

1.1.4 เป็นระบบ 1 เฟส 2 สาย หรือ 3 สาย ใช้สายนิวทรัลเป็นเส้นต่อลงดิน

1.2 ระบบไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 1000 โวลต์ขึ้นไป

ระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเคลื่อนที่ได้ต้องต่อลงดิน แต่ถ้าจ่ายไฟให้เครื่องอุปกรณ์อื่นจะต้องต่อลงดินหรือไม่ก็ได้ กรณีที่ต้องการต่อลงดิน การต่อลงดินต้องไม่ขัดกับข้อกำหนดเรื่องการต่อลงดิน

2. การต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไปนี้ต้องต่อลงดิน

2.1 เครื่องห่อหุ้มที่เป็นโลหะของสายไฟฟ้า แผงเมนสวิตช์ โครงหรือรางปั้นจั่นที่ใช้ไฟฟ้า โครงของตู้ลิฟต์ และลวดสลิงยกของที่ใช้ไฟฟ้า

2.2 สิ่งกั้นที่เป็นโลหะ รั้วโลหะ รวมทั้งเครื่องห่อหุ้มของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบแรงสูง

2.3 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ยึดติดกับที่ และที่ต่ออยู่กับสายไฟฟ้าที่เดินถาวร ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง ซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า แต่อาจมีไฟรั่วถึงได้ต้องต่อลงดิน ถ้ามีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

2.3.1 อยู่ห่างจากพื้น หรือโลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 2.40 เมตร (ในแนวตั้ง) หรือ 1.50 เมตร (ในแนวนอน) และบุคคลอาจสัมผัสได้ แต่ถ้าวิธีการติดตั้ง หรือมีวิธีการป้องกันอย่างอื่นที่ป้องกันบุคคลไปสัมผัสโดยไม่ตั้งใจ ก็ไม่ต้องต่อลงดิน

2.3.2 สัมผัสทางไฟฟ้ากับโลหะอื่นที่บุคคลอาจไปสัมผัสได้ เช่น โครงสร้างอาคาร

2.3.3 อยู่ในสถานที่เปียก หรือ ชื้น และไม่ได้มีการแยกให้อยู่ต่างหาก

2.4 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดยึดติดกับที่ต่อไปนี้ ต้องต่อส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง และสภาพปกติไม่มีกระแสไฟฟ้าลงดิน คือ

2.4.1 โครงของแผงสวิตช์

2.4.2 โครงของมอเตอร์ชนิดยึดติดกับที่

2.4.3 กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์ แต่ถ้าใช้เป็นสวิตช์ธรรมดา และมีฉนวนรองที่ฝาสวิตช์ด้านในก็ไม่ต้องต่อลงดิน

2.4.4 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าของลิฟต์ และปั้นจั่น

2.4.5 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าในอู่จอดรถ โรงมหรสพ โรงถ่ายภาพยนตร์ สถานีวิทยุโทรทัศน์ ไม่รวมถึงโคมไฟแบบแขวน

2.4.6 ป้าย และอุปกรณ์ประกอบซึ่งต้องใช้ไฟฟ้า

2.4.7 เครื่องฉายภาพยนตร์

2.4.8 เครื่องสูบน้ำที่ใช้มอเตอร์

2.5 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบ ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้าต้องต่อลงดิน ยกเว้น เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ระบุว่า เป็นชนิดฉนวน 2 ชั้น หรือเทียบเท่า ถ้าอยู่ในสภาพตามข้อหนึ่งข้อใดต่อไปนี้

2.5.1 แรงดันไฟฟ้าวัดเทียบกับดินเกิน 150 โวลต์ ยกเว้น มอเตอร์ที่มีการกั้นโครงโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้าทางความร้อน ซึ่งมีฉนวนกั้นที่ถาวรระหว่างโครงโลหะกับดิน

2.5.2 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่อยู่อาศัยต่อไปนี้

2.5.2.1 ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องปรับอากาศ

2.5.2.2 เครื่องซักผ้า เครื่องอบผ้า เครื่องล้างจาน เครื่องสูบน้ำทิ้ง และเครื่องใช้ไฟฟ้าในตู้เลี้ยงปลา

2.5.2.3 เครื่องมือชนิดมือถือทำงานด้วยมอเตอร์ เช่น สว่านไฟฟ้า

2.5.2.4 เครื่องเล็มต้นไม้ เครื่องตัดหญ้า เครื่องขัดฎชนิดใช้น้ำ ซึ่งทำงานด้วยมอเตอร์

2.5.2.5 ดวงโคมไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้

2.5.3 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่ที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยต่อไปนี้

2.5.3.1 ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องปรับอากาศ

2.5.3.2 เครื่องซักผ้า เครื่องอบผ้า เครื่องล้างจาน เครื่องสูบน้ำทิ้ง เครื่องประมวลผลข้อมูล และเครื่องใช้ไฟฟ้าในตู้เลี้ยงปลา

2.5.3.3 เครื่องมือชนิดมือถือทำงานด้วยมอเตอร์

2.5.3.4 เครื่องเล็มต้นไม้ เครื่องตัดหญ้า เครื่องขัดฎชนิดใช้น้ำ ซึ่งทำงานด้วยมอเตอร์

2.5.3.5 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่เปียกชื้น หรือบุคคลที่ใช้ยืนอยู่บนพื้นดิน หรือพื้นโลหะ หรือทำงานอยู่ในถังโลหะ หรือหม้อน้ำ

2.5.3.6 เครื่องมือที่อาจนำไปใช้ในสถานที่เปียก หรือใช้ในบริเวณที่นำไฟฟ้าได้ดี

2.5.3.7 ดวงโคมไฟฟ้าชนิดหยิบยกได้

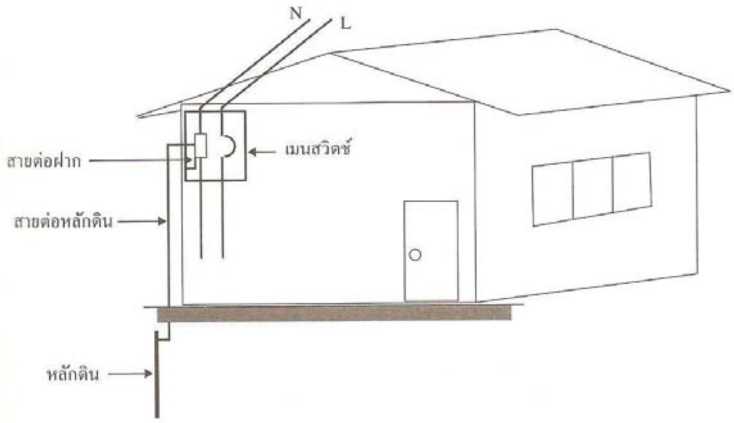
5.6.2 วิธีต่อลงดินสำหรับสายภายในอาคาร

สายภายในอาคารแบ่งวิธีต่อลงดินออกเป็น 2 วิธี คือ

1. วิธีต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
2. วิธีต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

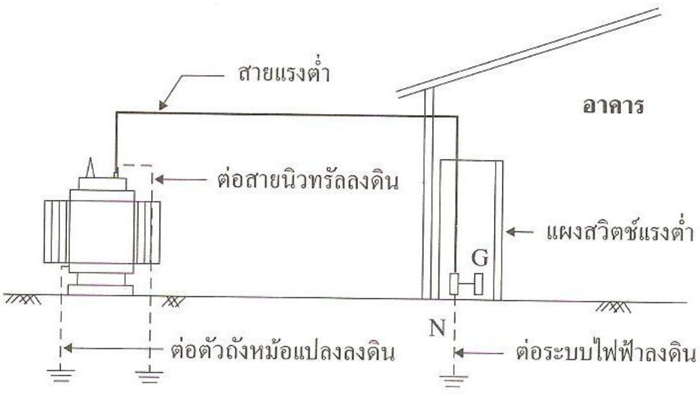
1. วิธีต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

ผู้ขอใช้ไฟฟ้าที่รับไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้าฯ ต้องใช้ระบบไฟฟ้าที่ต่อลงดิน เพราะระบบของการไฟฟ้าฯ เป็นระบบที่ต่อลงดิน การต่อลงดินต้องต่อลงดินที่เมนสวิตช์ และการต่อลงหลักดิน (Ground Rod) ทำเฉพาะที่เมนสวิตช์ทางด้านไฟเข้าเท่านั้น ทางด้านไฟออกของเมนสวิตช์ที่อยู่ในอาคารห้ามต่อระบบไฟฟ้าลงดินอีก เพราะอาจทำให้เครื่องป้องกันไฟรั่วทำงานผิดพลาดได้



รูปการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่เมนสวิตช์

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ ต้องมีการติดตั้งหม้อแปลง ทางด้านไฟออกของหม้อแปลงต้องต่อลงดิน สายเส้นที่จะต่อลงดินต้องเดินไปที่แผงเมนสวิตช์แรงต่ำด้วยไม่ว่าจะใช้งานหรือไม่ก็ตาม และต่อลงดินที่เมนสวิตช์ ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารที่หม้อแปลงจะต้องต่อลงดินเพิ่มอย่างน้อยอีก 1 จุด จุดต่อลงดินนี้ถ้าต่อที่หม้อแปลงไม่สะดวกจะทำที่จุดอื่นก็ได้



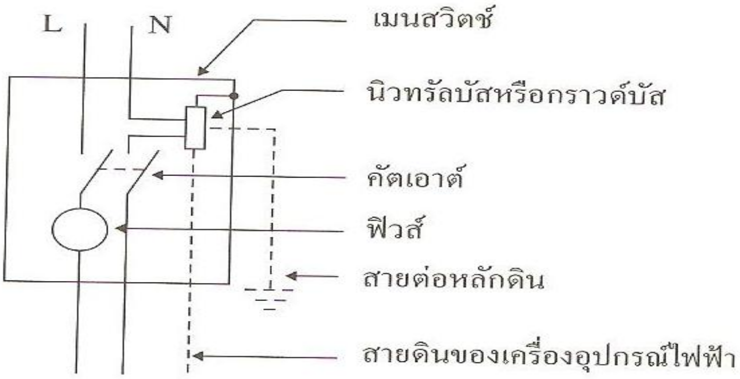
รูปการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่เมนสวิตช์

ถ้ามีเมนสวิตช์ชุดเดียวแต่จ่ายไฟให้อาคารมากกว่าหนึ่งหลัง อาคารแต่ละหลังแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ที่เมนสวิตช์ต้องต่อลงดิน และแต่ละอาคารต้องมีหลักดินเพื่อต่อระบบไฟฟ้าลงดินรวมทั้งเครื่องห่อหุ้มเครื่องปลดวงจรประจำอาคารด้วย

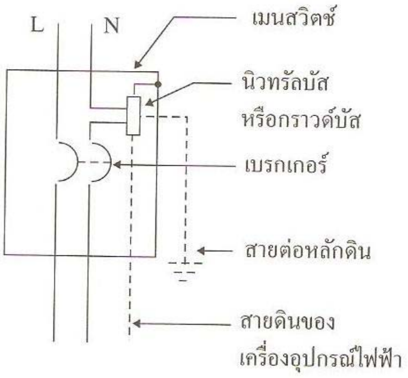
อาจทำหลักดินที่อาคารหลังแรกแห่งเดียวก็ได้ ถ้าเป็นไปตามข้อหนึ่งข้อใดต่อไปนี้

1. อาคารที่แยกออกมาเป็นอาคารขนาดเล็ก มีวงจรย่อยเพียงชุดเดียว และวงจรย่อยนี้ไม่ได้จ่ายไฟให้เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

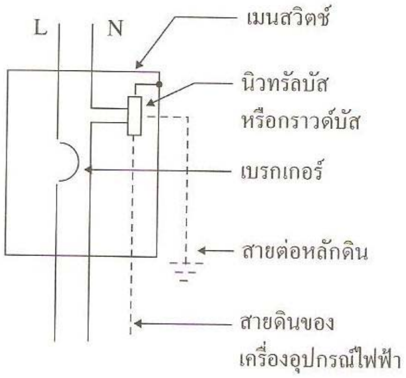
2. มีการเดินสายดินสำหรับเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าไปที่อาคารหลังที่แยกออกมานี้ด้วย



รูปการต่อลงดินของเมนสวิตช์ขนาดเล็ก เมื่อใช้คัตเอาต์



การต่อลงดินเมื่อใช้ 2-Pole CB



การต่อลงดินเมื่อใช้ 1-Pole CB

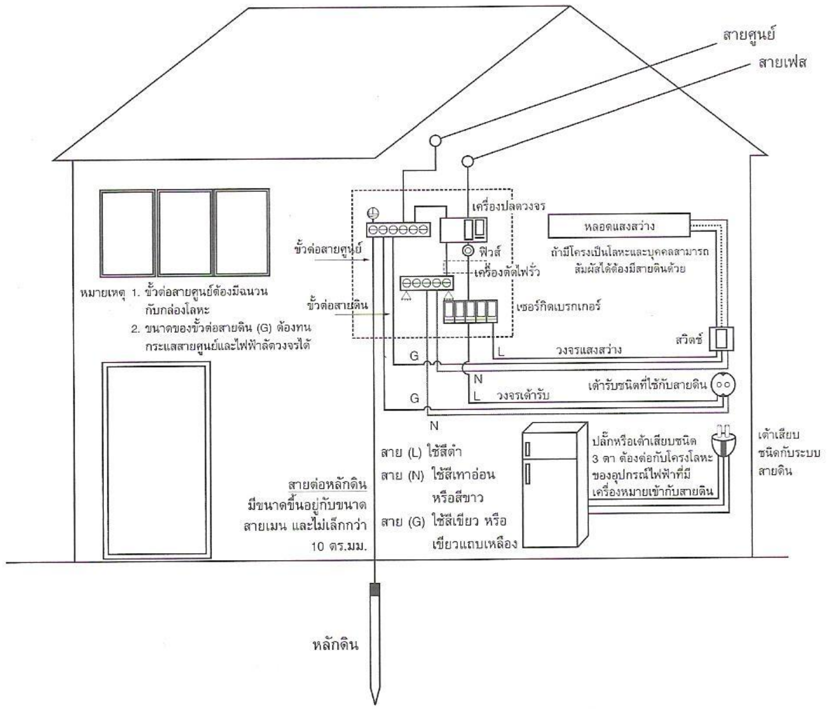
รูปการต่อลงดินของเมนสวิตช์ขนาดเล็ก เมื่อใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์

ระบบไฟฟ้าที่ต่อลงดินต้องต่อลงดินที่เมนสวิตช์ และเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดินก็ต้องเดินสายดินมาที่เมนสวิตช์ด้วย และต่อฝากเข้ากับสายนิวทรัล ในแผงสวิตช์บางตัวนิวทรัลบัสจะยึดติดโดยตรงกับกล่องของแผงเมนสวิตช์ ถ้าการยึดแน่นหนาพอ มีการต่อทางไฟฟ้าที่ดีก็สามารถใช้แทนการต่อฝากได้ และไม่ต้องใช้สายต่อฝากกล่องของเมนสวิตช์นี้เข้ากับนิวทรัลบัสก็ได้

ในแผงสวิตช์ขนาดใหญ่อาจใช้นิวทรัลบัสแยกกับบัสบาร์ต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือกราวด์บัส การต่อลงดินทำได้โดยต่อหลักดินเข้ากับนิวทรัลบัส และต่อฝากกราวด์บัสเข้ากับนิวทรัลบัส กรณีนี้สายต่อหลักดินอาจต่อเข้ากับกราวด์บัสแทนการต่อที่นิวทรัลบัสก็ได้

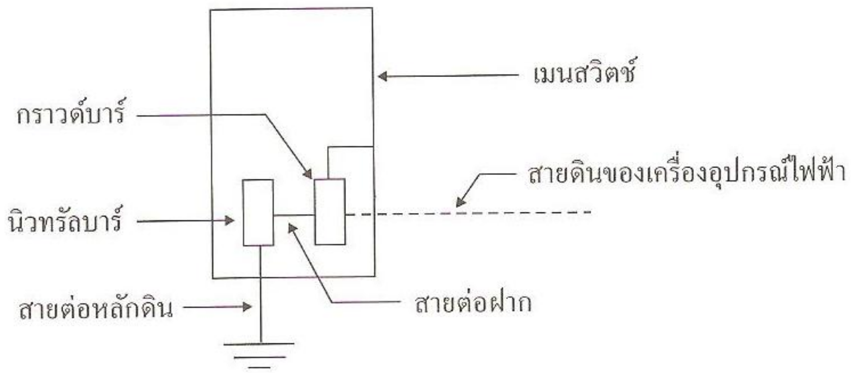
2. วิธีต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะต่อลงดินต้องเดินสายดินไปต่อลงดินที่เมนสวิตช์ เพื่อให้เครื่องป้องกันกระแสเกินทำงานปลดวงจรเมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วลงตัวถังเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อไฟฟ้ารั่วกระแสไฟฟ้าจำนวนมากจะไหลครบวงจร โดยผ่านสายดินเนื่องจากมีความต้านทานต่ำ การมีหลักดินที่เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากความต้านทานระหว่างหลักดินกับดินอาจมีค่าสูงเป็นผลทำให้เครื่องป้องกันกระแสเกินอาจปลดวงจรช้า หรือไม่ปลดวงจรก็ได้ การต่อเปลือกเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าลงดินโดยตรงยอมให้ทำได้เป็นการเพิ่มเติมเท่านั้น แต่ต้องมีการเดินสายดินไปต่อลงดินที่เมนสวิตช์ด้วย และสายดินต้องเดินร่วมไปกับสายของวงจร



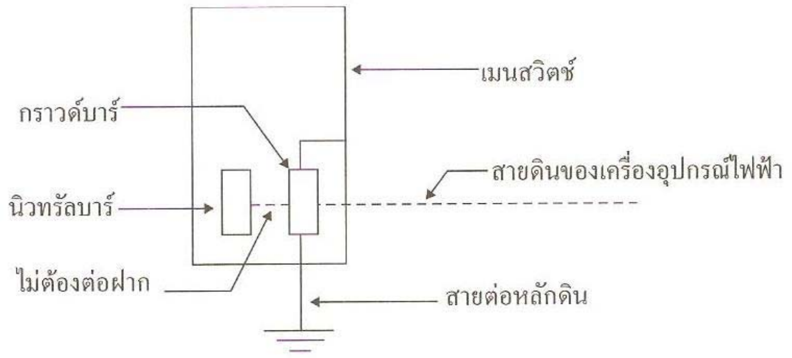
รูปการต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบไฟฟ้า

ถ้าเป็นระบบไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เดินไปต่อลงดินที่เมนสวิตช์ต้องต่อลงดินโดยใช้หลักดินเดียวกับระบบไฟฟ้า



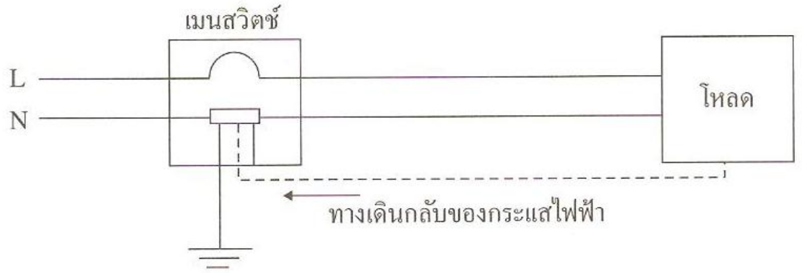
รูปการต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เมนสวิตช์ กรณีระบบไฟฟ้าต่อลงดิน

สำหรับระบบไฟฟ้าที่ไม่ต่อลงดิน เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าก็ต้องต่อลงดินด้วย การต่อลงดินทำโดยการเดินสายดินไปต่อลงดินที่เมนสวิตช์ แต่ไม่ต้องต่อฝากเข้ากับสายนิวทรัล (นิวทรัลบาร์) กรณีนี้นิวทรัลบาร์ต้องติดตั้งบนฉนวน



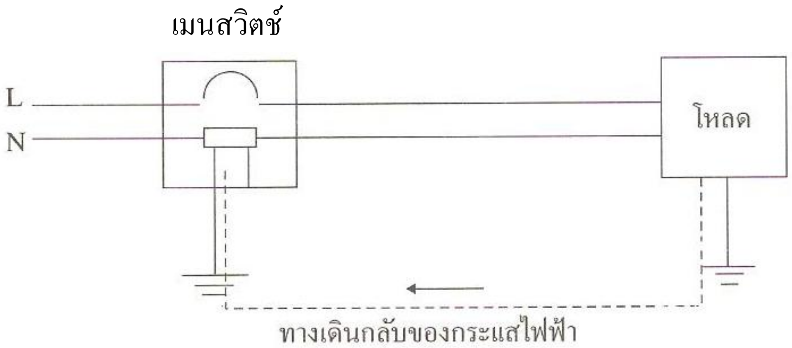
รูปการต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เมนสวิตช์ กรณีระบบไฟฟ้าไม่ต่อลงดิน

การเดินสายดินไปต่อลงดินที่เมนสวิตช์ มีจุดประสงค์เพื่อให้เครื่องป้องกันกระแสเกินทำการปลดวงจรได้ถูกต้องและรวดเร็ว จากรูป ก. ค่าความต้านทาน (Loop Impedance) ปกติมีค่าน้อยมาก เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดินจะมีกระแสไหลในวงจรมีค่าสูงมาก เครื่องป้องกันกระแสเกินจะทำการปลดวงจรอย่างรวดเร็วเป็นผลให้วงจรที่เกิดไฟรั่วนี้ถูกปลดออก ผู้ใช้ไฟฟ้าก็จะมีความปลอดภัย



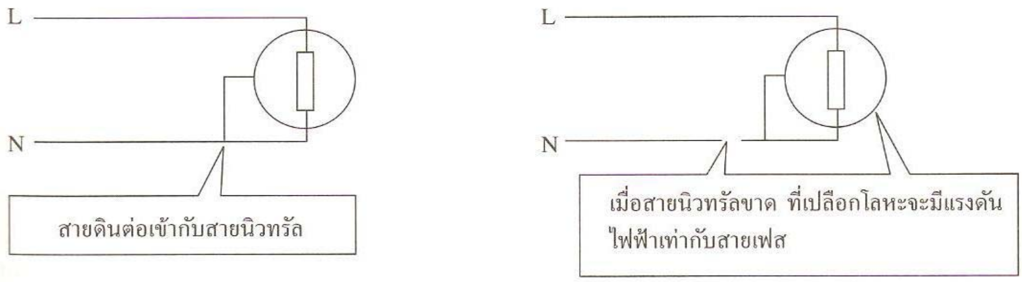
ก. ทางเดินกระแสไหลกลับของกระแสลัดวงจร เมื่อเดินสายดินไปที่เมนสวิตช์

จากรูป ข. ต่อลงดินโดยการต่อเปลือกเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าลงดินโดยตรงที่จุดติดตั้ง เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดิน ค่าความต้านทาน (Loop Impedance) มีค่าสูงเนื่องจากต้องไหลผ่านหลักดิน และดิน ทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าน้อย เครื่องป้องกันกระแสเกินอาจไม่ปลดวงจร หรือปลดวงจรช้ากว่าที่กำหนด



ข. ทางเดินกระแสไหลกลับของกระแสลัดวงจร เมื่อปักหลักดินที่เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

การต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า ห้ามต่อเปลือกหรือเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าลงดินโดยวิธีการต่อเข้ากับสายนิวทรัล เพราะถ้าสายนิวทรัลขาดที่เปลือกหรือเครื่องห่อหุ้มโลหะของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับสายเส้นไฟ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อบุคคลที่สัมผัสได้



รูปการต่อสายดินเข้ากับสายนิวทรัล

5.6.3 การกำหนดชนิด และขนาดของสายดิน

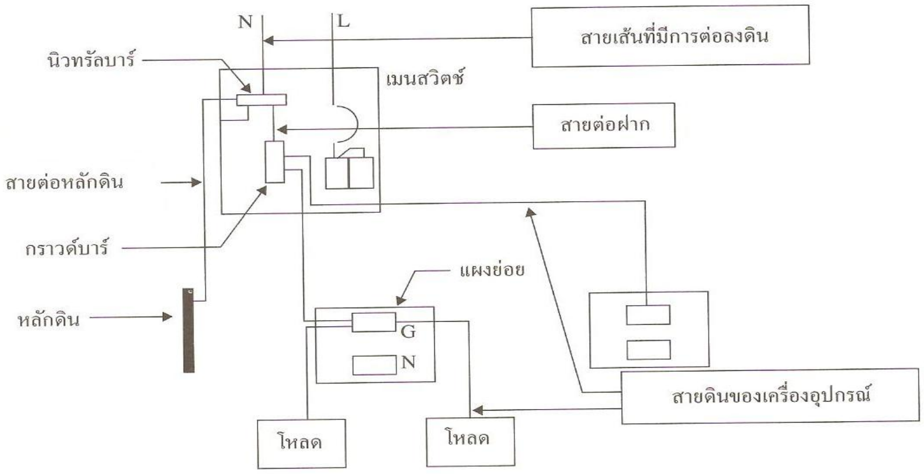
สายดินในวงจรไฟฟ้าอาจแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

5.6.3.1 สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductor)

5.6.3.2 สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor)

5.6.3.3 สายเส้นที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor)

5.6.3.4 สายต่อฝาก (Bonding Jumper)



รูประบบสายดินของวงจรไฟฟ้า

5.6.3.1 สายต่อหลักดิน

1. ชนิดของสายต่อหลักดิน

สายต่อหลักดินต้องเป็นสายทองแดงเท่านั้น จะใช้สายเดี่ยว หรือสายตีเกลียวก็ได้ แต่ต้องเป็นเส้นเดียวกันตลอดความยาวโดยไม่มีการต่อระหว่างทาง กรณีที่ใช้เป็นบัสบาร์ต้องเป็นบัสบาร์ทองแดงเช่นกัน แต่ยอมให้มีการต่อระหว่างทางได้ สายที่ต่อกับหลักดินต้องเป็นสายหุ้มฉนวน ห้ามใช้สายเปลือย

2. ขนาดของสายต่อหลักดิน

ขนาดของสายต่อหลักดินต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าที่กำหนดในตารางขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยกำหนดจากขนาดสายเมนเข้าอาคาร

ตารางขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ขนาดสายเมนเข้าอาคาร (ตัวนำทองแดง) ตร.มม.	ขนาดสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) ตร.มม.
ไม่เกิน 35	10
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95

5.6.3.2. สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

1. ชนิดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

ถ้าใช้เป็นสายไฟฟ้าต้องเป็นสายทองแดง อาจเป็นสายหุ้มฉนวนหรือเปลือยก็ได้ กรณีที่ใช้เป็นสายหุ้มฉนวน ฉนวนหรือเปลือกต้องเป็นสีเขียว หรือเขียวแถบเหลือง สายที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ตร.มม. ให้ทำเครื่องหมายแทนได้ เครื่องหมายให้ทำที่ปลายสาย และทุกจุดที่เข้าถึงได้ อุปกรณ์เดินสายที่ยอมให้ใช้ทำหน้าที่เป็นสายดินได้ คือ เปลือกโลหะของเคเบิลชนิด AC , MI และ MC และเปลือกของบัสเวย์ชนิดที่ออกแบบให้เป็นสายดินได้

2. ขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าตารางขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของแต่ละวงจร ถ้าขนาดสายที่กำหนดจากตารางมีขนาดใหญ่กว่าขนาดสายของวงจรให้ใช้ขนาดเท่ากับสายของวงจร สายพร้อมเต้าเสียบของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งใช้ไฟฟ้าจากวงจร มีเครื่องป้องกันกระแสเกินที่มีขนาดไม่เกิน 20 แอมแปร์ สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นตัวนำทองแดง และเป็นแกนหนึ่งของสายอ่อนอาจเล็กกว่าที่กำหนดได้ แต่ต้องไม่เล็กกว่าขนาดของสายวงจร และไม่เล็กกว่า 1.0 ตร.มม.

ตารางขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

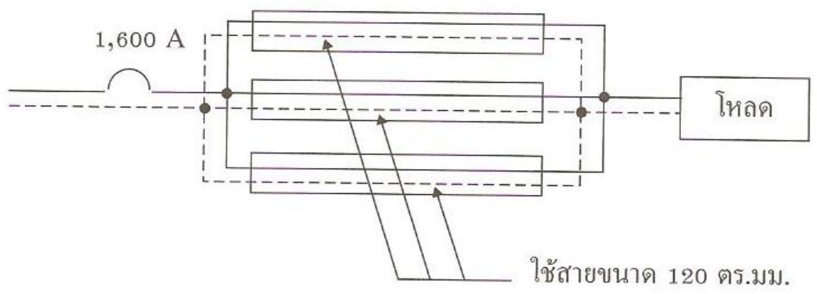
พิกัด หรือ ขนาดปรับตั้งสูงสุด ของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (แอมแปร์)	ขนาดเล็กสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง – ตร.มม.)
16	1.5
20	2.5
40	4
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

ในวงจรไฟฟ้าที่ใช้สายดินขนาดเล็กกว่า 10 ตร.มม. ต้องเพิ่มความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากวงจรจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูง เป็นผลให้อิมพีแดนซ์ของวงจรการต่อลงดินสูง เซอร์กิตเบรกเกอร์จะปลดวงจรช้าลง บุคคลที่สัมผัสอุปกรณ์ไฟฟ้าขณะที่รั่วอาจเกิดอันตรายได้ และสายดินอาจร้อนจนหลอมละลายได้เช่นกัน แก้ไขโดยการเพิ่มขนาดสายดินให้ใหญ่ขึ้น

อิมพีแดนซ์ของวงจรการต่อลงดินเริ่มจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปจนถึงจุดที่เกิดกระแสรั่วลงดิน และย้อนกลับมาที่หม้อแปลงไฟฟ้าอีก

การเดินสายไฟฟ้าบางวงจรอาจมีการออกแบบ หรือติดตั้งที่แตกต่างไปจากวงจรทั่วไป ในวงจรที่มีกระแสสูงอาจต้องใช้สายไฟฟ้าหลายเส้นต่อเฟสเรียกว่า เดินสายควบ บางวงจรโหลดที่ใช้ไฟจากแผงย่อยเดียวกันอาจใช้สายดินร่วมกัน จึงมีข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับการเดินสายดินไว้ดังนี้

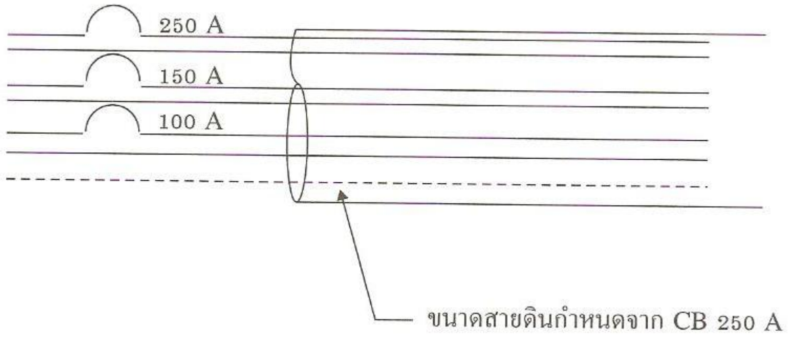
- สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้ากรณีเดินสายควบ การเดินสายไฟฟ้าไปโหลดที่ต้องใช้สายไฟฟ้าหลายเส้นควบกัน และเดินแยกกันไปชุดละช่องเดินสาย ในแต่ละช่องเดินสายต้องเดินสายดินไปด้วย ขนาดสายดินในแต่ละช่องเดินสายกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใช้ป้องกันกระแสเกินที่ใช้ป้องกันสายในวงจรนั้น สมมุติว่า ในวงจรไฟฟ้าวงจรหนึ่งใช้เครื่องป้องกันกระแสเกินขนาด 1600 แอมแปร์ ได้สายดินขนาด 120 ตร.มม. ถ้าแต่ละเฟสใช้สายไฟฟ้า 3 เส้นเดินควบกัน แต่ละชุดเดินแยกกันคนละท่อ ในแต่ละท่อจะมีสายเฟสทั้ง 3 เฟส สายนิวทรัล และสายดินขนาด 120 ตร.มม. เดินร่วมไปด้วยกัน ถ้าใช้สายดินขนาด 50 ตร.มม. ท่อละเส้นซึ่งรวมพื้นที่หน้าตัดได้ 150 ตร.มม. จะไม่ถูกต้อง



รูปขนาดสายดิน กรณีเดินสายควบ (สายวงจรแสดงเพียงเส้นเดียว)

- สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้ากรณีใช้สายดินร่วมกัน เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถใช้สายดินร่วมกันได้ ถ้าสายไฟฟ้าที่เดินไปเข้าเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นเดินรวมอยู่ในช่องเดินสายเดียวกัน

การกำหนดขนาดสายดินให้คิดจากพิกัด หรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใหญ่ที่สุดที่ใช้ป้องกันเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะใช้สายดินร่วมกัน



รูปการใช้สายดินร่วมกัน

จากข้อกำหนดนี้ กรณีของอาคารชุดจะทำให้สายดินของแต่ละห้องชุดสามารถใช้สายดินร่วมกันได้ แต่ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดคือ สายเมนทั้งหมดต้องเดินรวมอยู่ในช่องเดินสายเดียวกัน และการต่อต้องทำให้ถูกต้องด้วย การกำหนดขนาดสายดินจะกำหนดจากขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวใหญ่ที่สุดที่ใช้สายดินร่วมกัน

5.6.3.3 สายเส้นที่มีการต่อลงดิน

สายเส้นที่มีการต่อลงดินสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้าฯ คือ สายนิวทรัลเส้นที่ต่อจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ หรือถ้าใช้ไฟฟ้าแรงสูงสายเส้นที่มีการต่อลงดิน คือ สายนิวทรัลเส้นที่ต่อจากหม้อแปลงไฟฟ้าด้านแรงต่ำมายังแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ สายนี้ต้องเดินไปที่เมนสวิตช์ด้วยไม่ว่าจะใช้งานหรือไม่ก็ตาม ขนาดสายต้องไม่เล็กกว่าที่กำหนด โดยกำหนดจากขนาดสายเมนเส้นเฟสและถ้าใช้สายเมนเป็นสายทองแดงขนาดโตกว่า 500 ตร.มม. ขนาดเส้นสายนิวทรัลต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 12.5% ของสายเส้นไฟเส้นเฟส แต่ไม่จำเป็นต้องใหญ่กว่าสายเส้นเฟสเส้นใหญ่ที่สุด

ในกฎการเดินสาย และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ กำหนดให้ขนาดสายนิวทรัลของวงจร 3 เฟส 4 สาย ต้องสอดคล้องกับที่กำหนดในเครื่องสายเมนเข้าอาคาร ดังนี้

- กรณีสายเส้นไฟมีกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดไม่เกิน 200 แอมแปร์ ขนาดกระแสของสายนิวทรัลต้องไม่น้อยกว่ากระแสโหลดสูงสุด

- กรณีสายเส้นไฟมีกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดเกิน 200 แอมแปร์ ขนาดกระแสของสายนิวทรัลต้องไม่ต่ำกว่า 200 แอมแปร์บวกด้วย 70% ของส่วนที่เกิน 200 แอมแปร์

- ถ้าโหลดไม่สมดุลเป็นโหลดประเภทดีสชาร์จ (เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์) เครื่องอุปกรณ์เกี่ยวกับการประมวลผล (เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์) หรือเครื่องอุปกรณ์อื่นที่ทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกไหลในสายเส้นนิวทรัล สายนิวทรัลต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าโหลดไม่สมดุลนั้น โหลดไม่สมดุล คือ โหลด 1 เฟสที่ต่ออยู่ในวงจร 3 เฟส เลือกใช้เฟสที่มากที่สุด

การกำหนดสายเส้นที่มีการต่อลงดินจึงทำได้ 2 วิธีคือ กำหนดจากขนาดสายเมนเข้าอาคารเส้นเฟส หรือกำหนดจากข้อกำหนดของขนาดสายนิวทรัล ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจได้ขนาดสายนิวทรัลไม่เท่ากัน ในทางปฏิบัติจึงควรใช้ทั้ง 2 วิธี และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกันโดยจะเลือกใช้วิธีที่ได้ขนาดสายใหญ่กว่า

5.6.3.4 สายต่อฝาก

การต่อฝาก คือ การใช้ตัวนำต่อถึงกันทางไฟฟ้าระหว่างโลหะ หรือตัวนำไฟฟ้า ซึ่งในสภาพปกติไม่ใช้เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า แต่เมื่อเกิดผิดปกติ และมีกระแสไหลผ่านต้องให้กระแสไหลผ่านได้สะดวกเพื่อให้ระบบป้องกันทำงานได้ดี และถูกต้อง การต่อฝากเป็นการทำเพื่อให้มั่นใจว่า ระบบสายดินมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี สายต่อฝากนี้จะต้องสามารถรับกระแสลัดวงจรที่อาจเกิดขึ้นได้ ในวงจรการ

ต่อฝากต้องทำทุกจุดตั้งแต่ที่เมนสวิตช์ และตามจุดต่างๆ หลังจากเมนสวิตช์ เช่น ช่องเดินสายไฟฟ้าโลหะ แผงสวิตช์ และกล่องต่อสาย เป็นต้น การต่อฝากอาจใช้เป็นสายทองแดง หรืออุปกรณ์การเดินสายอื่นก็ได้ ถ้าเป็นสายไฟฟ้าจะกำหนดขนาดดังนี้

1. สายต่อฝากของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านไฟเข้าของเมนสวิตช์ คือ สายต่อฝากก่อนที่จะถึงเมนสวิตช์ส่วนที่เป็นโลหะซึ่งไม่ใช่เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องมีการต่อฝากถึงกันอย่างดี ดังต่อไปนี้

1.1 เครื่องอุปกรณ์สำหรับการเดินสาย เช่น ช่องเดินสายไฟฟ้า รางเคเบิล และเปลือกเคเบิลที่เป็นโลหะ

1.2 เครื่องห่อหุ้มเมนสวิตช์

1.3 ช่องเดินสายไฟฟ้าโลหะของสายต่อหลักดิน การต่อฝากต้องทำที่ทุกๆ ปลายช่องเดินสาย โดยต่อฝากช่องเดินสายไฟฟ้า กล่อง และเครื่องห่อหุ้มเข้ากับสายที่ต่อกับหลักดิน

วิธีต่อฝากที่เมนสวิตช์ทางด้านไฟเข้าทำได้หลายวิธีดังนี้

1. โดยการใช้สายไฟฟ้าต่อสายนิวทรัลเข้ากับกล่องโลหะของเมนสวิตช์
2. ถ้าใช้ท่อโลหะหนา หรือท่อโลหะหนาปานกลางเดินมาเข้าเมนสวิตช์ทางด้านไฟเข้า การต่อฝากทำได้โดยการใช้ข้อต่อแบบเกลียว ถ้ากล่องโลหะของเมนสวิตช์เป็นชนิดข้อต่อแบบมีเกลียว
3. ถ้าใช้ท่อโลหะบางให้ใช้ข้อต่อแบบไม่ต้องทำเกลียวต่อให้แน่นสนิท
4. ใช้สายต่อฝากตามจุดต่อต่างๆ เพื่อให้มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่ดี
5. ใช้อุปกรณ์อื่นๆ เช่น บุชชิ่งแบบมีขั้วต่อสายดินพร้อมล็อกนัต

สายต่อฝากเส้นนี้รวมทั้งสายต่อฝากระหว่างกราวด์บาร์กับนิวทรัลบาร์ ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายต่อหลักดินที่กำหนดในตารางขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าสายเส้นไฟเป็นสายทองแดงมีขนาดโตกว่า 500 ตร.มม. สายต่อฝากต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 12.5% สายเส้นไฟที่ใหญ่สุดด้วย

สายเมนเข้าอาคารที่เดินในช่องเดินสาย หรือใช้สายเคเบิลมากกว่าหนึ่งชุดควบกัน แต่ละช่องเดินสายหรือแต่ละสายเคเบิลให้ใช้สายต่อฝากที่มีขนาดไม่เล็กกว่าที่กำหนดในตารางขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยคิดจากขนาดของสายในแต่ละช่องเดินสาย หรือแต่ละสายเคเบิล

2. สายต่อฝากของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านไฟออกของเมนสวิตช์ ส่วนที่เป็นโลหะซึ่งปกติไม่ใช้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อจากทางด้านไฟออกของเมนสวิตช์ไปจนถึงโหลดต้องต่อฝากเข้าด้วยกันและต่อลงดิน ช่องเดินสายโลหะ รางเคเบิล เครื่องห่อหุ้ม โครงเครื่องประกอบการติดตั้ง และส่วนที่เป็นโลหะอื่นๆ ที่ไม่เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้า ถ้าใช้ทำหน้าที่แทนสายดินต้องต่อฝากถึงกัน และสามารถทนกระแสลัดวงจรได้ สายต่อฝากจะมีขนาดเท่ากับขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยกำหนดจากตารางขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

5.6.4 หลักดิน (Ground Rod)

หลักดินที่เราพบกันทั่วไป คือ หลักทองแดง เหล็กหุ้มด้วยทองแดง หรือเหล็กชุบสังกะสี มีลักษณะเป็นแท่งกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว (16 มม.) ยาว 8 ฟุต หลักดินที่กำหนดเป็นมาตรฐานในกฏการเดินสาย และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ มีดังนี้

1. แท่งเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อน หรือแท่งเหล็กหุ้มทองแดง หรือแท่งทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 16 มม. ยาวไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร ปลายข้างหนึ่งปักลึกลงดินไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร

2. แผ่นโลหะที่มีพื้นที่สัมผัสดินไม่น้อยกว่า 1,800 ตร.มม. ถ้าเป็นเหล็กอาบโลหะชนิดผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. ถ้าเป็นโลหะอื่นที่ทนต่อการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.50 มม. ฝังลึกจากผิวดินไม่น้อยกว่า 1.60 เมตร

3. โครงอาคารที่เป็นโลหะ วัดค่าความต้านทานระหว่างหลักดินกับดินไม่เกิน 5 โอห์ม

4. หลักดินชนิดอื่นต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าฯ ก่อน

ในกฏการเดินสายและการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ กำหนดค่าความต้านทานระหว่างหลักดินกับดินไม่เกิน 5 โอห์ม จุดที่ต่อสายดินเข้ากับหลักดินต้องอยู่ในที่ซึ่งเข้าถึงได้ และการต่อต้องมั่นคงแข็งแรง แต่ถ้าจุดต่อฝังอยู่ในคอนกรีต ตอก หรือฝังในดินก็ไม่จำเป็นต้องให้เข้าถึงได้

ระยะห่างระหว่างหลักดิน

หลักดินที่ติดตั้งหลายต้นในแนวเส้นตรงต้องอาศัยพื้นที่ที่ยาวมากๆ ซึ่งการเพิ่มจำนวนหลักดินจะทำให้ความต้านทานลดลง ตามค่าตัวคูณที่ระบุในตาราง (การติดตั้งหลักดิน 3 แท่งเป็นรูปสามเหลี่ยม ใช้ตัวคูณเดียวกับแบบติดตั้งหลักดิน 3 แท่งในแนวตรงได้)

ตัวคูณลดตามจำนวนหลักดิน (หลักดินขนาด 16 มม. ยาว 2.40 เมตร		
จำนวน Rod	ระยะห่างระหว่าง Rod 2.4 เมตร	ระยะห่างระหว่าง Rod 4.8 เมตร
2	0.58	0.54
3	0.42	0.38
4	0.34	0.29
6	0.25	0.21
8	0.19	0.16
10	0.16	0.13

หลักดินหลายแท่งติดตั้งเป็นรูปสี่เหลี่ยม

การติดตั้งหลักดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมนี้ใช้อย่างน้อยที่สุด 4 ต้น และเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าของ 4 เช่น 8 . 12 เป็นต้น เหมาะสำหรับพื้นที่ยาวไม่มากนัก และมีค่าตัวคูณลดตามจำนวนหลักดินดังตาราง

ตัวคูณลดตามจำนวนหลักดิน (หลักดินขนาด 16 มม. ยาว 2.40 เมตร		
จำนวน Rod	ระยะห่างระหว่าง Rod 2.4 เมตร	ระยะห่างระหว่าง Rod 4.8 เมตร
4	0.7225	0.6112
8	0.5800	0.4567
12	0.4570	0.3625

5.6.5 การต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า (กับดักฟ้าผ่า)

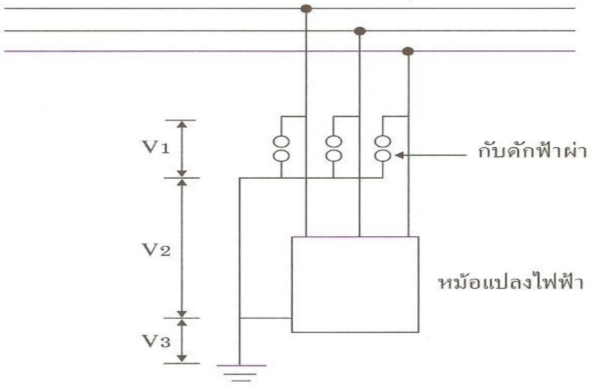
กับดักฟ้าผ่า หมายถึง เครื่องป้องกันความเสียหายของระบบไฟฟ้า และเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่า กับดักฟ้าผ่ามีติดตั้งทั้งในระบบแรงสูง และแรงต่ำ ปกติการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าจะติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้า สายเคเบิลใต้ดิน สวิตซ์ หรือเครื่องอุปกรณ์อื่นที่มีราคาแพง การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ามีหลักอยู่ว่า ต้องพยายามลดแรงดันไฟฟ้าเกินที่คร่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุด

การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าแยกออกเป็น 2 หัวข้อคือ

1. การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ากรณีติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้า
2. การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ากรณีติดตั้งที่สายเคเบิลใต้ดิน

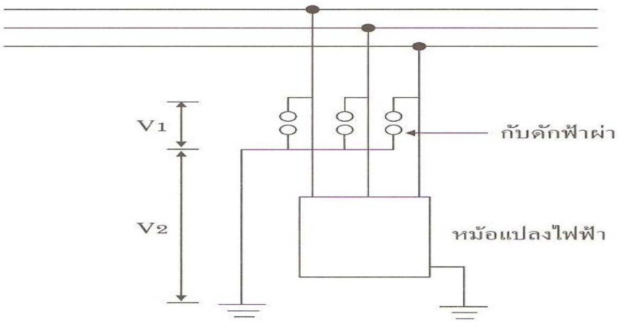
1. การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ากรณีติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้า

ปกติจะติดตั้งที่ทางด้านแรงสูงของหม้อแปลง สายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าต้องต่อรวมกับสายต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลง และต้องพยายามให้สั้นที่สุดเพื่อลดแรงดันคร่อมในสายไฟฟ้า สายต่อลงดินต้องแยกต่างหากจากสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าด้านแรงต่ำ (สายนิวทรัล) เพื่อป้องกันแรงดันเกินไปทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย



รูปสายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าต่อกับสายดินของตัวถังหม้อแปลง

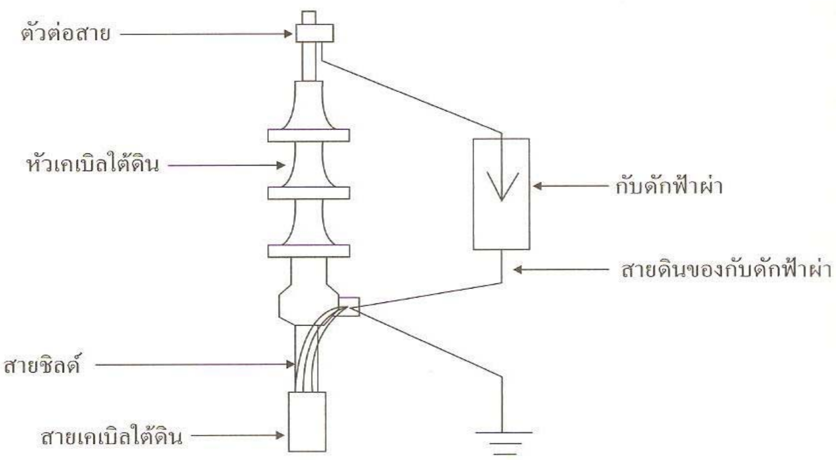
การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าแยกกับการต่อลงดินของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นคนละเส้นกัน จะเป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้าสูงขึ้น



รูปสายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าแยกกับสายต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลง

2. การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ากรณีติดตั้งที่สายเคเบิลใต้ดิน

ในระบบสายเคเบิลใต้ดินแรงสูงจะมีชีลด์ซึ่งต้องต่อลงดินเช่นกัน สายเคเบิลใต้ดินตรงจุดที่ต่อกับสายอากาศต้องติดตั้งกับดักฟ้าผ่าด้วย เพื่อป้องกันความเสียหายของสายเคเบิลและอุปกรณ์ไฟฟ้า การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าจะต่อร่วมกับสายชีลด์ของเคเบิลใต้ดิน ด้วยเหตุผลเดียวกับการต่อที่หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งจะลดแรงดันคร่อมระหว่างสายชิลด์กับตัวนำของเคเบิลใต้ดินเมื่อมีฟ้าผ่า



รูปสายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าต่อร่วมกับชิลด์ของสายเคเบิลใต้ดิน

การกำหนดขนาดสายดินของกับดักฟ้าผ่า

สายดินของกับดักฟ้าผ่าควรออกแบบให้มีอิมพีแดนซ์ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดแรงดันคร่อมสายต่อลงดิน แต่เนื่องจากสายดินนี้ในการใช้งานปกติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน กระแสไฟฟ้าจะไหลเฉพาะเมื่อเกิดแรงดันสูงเกิน และกับดักฟ้าผ่าทำงานเท่านั้น การกำหนดขนาดที่ใหญ่เกินไปจะเป็นผลให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย การกำหนดขนาดสายดินของกับดักฟ้าผ่าจะแตกต่างกันตามแต่ละมาตรฐานของแต่ละประเทศ ในมาตรฐาน NEC กำหนดขนาดสายดินว่า เป็นสายทองแดง หรืออะลูมิเนียมขนาดไม่เล็กกว่า 6 AWG. (13.3 ตร.มม.) ปกติสายทองแดงขนาด 14 ตร.มม. ไม่มีขายในท้องตลาดจึงควรใช้สายทองแดงขนาด 16 ตร.มม. อาจเป็นสายหุ้มฉนวน หรือ สายเปลือยก็ได้

บทที่ 6 การควบคุมมอเตอร์

6.1 ตู้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์

มอเตอร์เป็นโหลดที่สำคัญในระบบไฟฟ้า โหลดไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมีมอเตอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น เครื่องจักรในโรงงาน ปั้มน้ำ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น มอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปมีตั้งแต่ขนาดเล็กพิกัดไม่กี่วัตต์ จนถึงขนาดใหญ่มีพิกัดเป็นเมกกะวัตต์ และมีทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

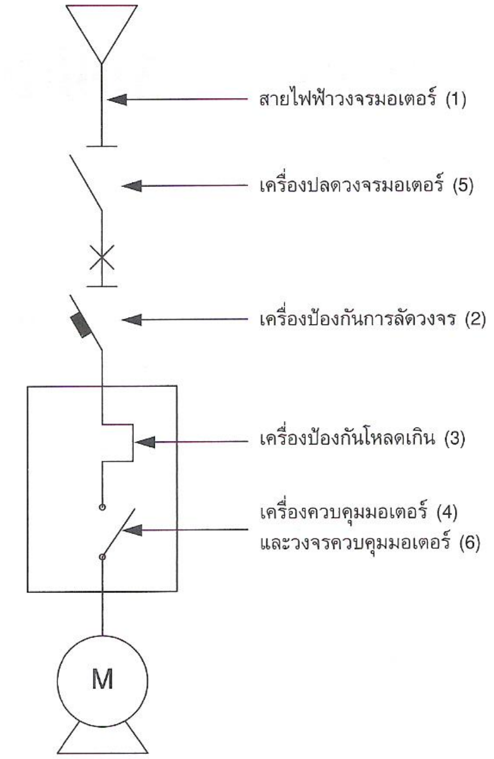
ในการออกแบบวงจรมอเตอร์ เพื่อให้การใช้งานมอเตอร์เป็นไปอย่างปลอดภัย และเชื่อถือได้ จึงมีมาตรฐานที่ควบคุมการออกแบบ และติดตั้งวงจรมอเตอร์ เช่น

- NEC Article 430 “Motors , Motor Circuits , and Controllers”
- มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ว.ส.ท. “มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และเครื่องควบคุม”

ส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์

วงจรมอเตอร์อาจแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ที่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาหาค่าพิกัดเป็น 6 ส่วน คือ

1. สายไฟฟ้าวงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit Conductors)
2. การป้องกันการลัดวงจรของวงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit Short Circuit Protection)
3. การป้องกันโหลดเกิน (Overload Protection)
4. เครื่องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller)
5. เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ (Motor Disconnect)
6. วงจรควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Circuits)



รูปส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้กันในปัจจุบันสามารถแบ่งตามหลักการทำงานได้ 3 ชนิด คือ

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)
2. มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีความทนทาน ราคาถูก และไม่ต้องการบำรุงรักษามาก มอเตอร์เหนี่ยวนำมีทั้งชนิด 1 เฟส และชนิด 3 เฟส และยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะของโรเตอร์ คือ โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) และโรเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor)

2. มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor)

เป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส โดยจะหมุนที่ความเร็วจำกัดค่าหนึ่ง เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Motor) ตัวมอเตอร์ประกอบไปด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ และขดลวดสนาม โดยจะจ่ายไฟ AC ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน ส่วนขดลวดสนามจะต้องจ่ายไฟ DC เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กตัดกับสนามแม่เหล็กหมุน ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีขดลวดสนามที่อยู่บนสเตเตอร์ และขดลวดอาร์เมเจอร์ที่อยู่บนโรเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีที่สามารถควบคุมความเร็วได้ดี และแรงบิดเริ่มเดินเครื่องสูง

นอกจากนี้มอเตอร์ชนิดต่างๆ ยังสามารถแบ่งแรงดันออกตามระดับแรงดันเป็นดังนี้

1. มอเตอร์แรงดันต่ำ (LV Motor)
2. มอเตอร์แรงดันสูง (HV Motor)

ในปัจจุบันนี้มีความต้องการใช้มอเตอร์ที่มีกำลังขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จึงใช้แรงดันสูงจ่ายให้มอเตอร์ โดยทั่วไปมอเตอร์แรงดันสูงจะมีขนาดตั้งแต่ 100 kW ขึ้นไป

พิกัดกระแสของมอเตอร์

ในการออกแบบหาขนาดสายวงจรมอเตอร์ หรือ หาขนาดบริภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์จำเป็นจะต้องทราบพิกัดกระแสของมอเตอร์ สำหรับประเทศไทยขนาดมอเตอร์ควรจะใช้เป็น kW มากกว่า HP (แรงม้า) เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทย ส่วนใหญ่มาจากประเทศทางยุโรป หรือแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี ซึ่งจะใช้ขนาดเป็น kW ส่วน HP เป็นขนาดมอเตอร์ของประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

การป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit Protection)

วงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมีการป้องกันการลัดวงจรสำหรับสายไฟฟ้า บริภัณฑ์ควบคุม และตัวมอเตอร์เอง บริภัณฑ์สำหรับการป้องกันการลัดวงจรของวงจรย่อยนี้ จะต้องสามารถนำกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ได้ โดยไม่ต้องเปิดวงจร บริภัณฑ์ป้องกันการลัดวงจรที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ ฟิวส์ (Fuse) และเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

ฟิวส์ (Fuse)

ฟิวส์ที่ใช้ในการป้องกันการลัดวงจรของวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภท คือ

1. ฟิวส์ทำงานไว (Non time-Delay Fuse) คือ ฟิวส์ที่ใช้ในวงจรจำหน่ายทั่วไป เช่น gL Fuse ฟิวส์แบบนี้สามารถใช้กับวงจรมอเตอร์ได้

2. ฟิวส์หน่วงเวลา (Time-Delay Fuse) คือ ฟิวส์ที่ออกแบบไว้เพื่อใช้งานกับวงจรมอเตอร์โดยเฉพาะ เช่น aM Fuse ฟิวส์แบบนี้จะให้การป้องกันที่ดีกว่าแบบแรก

เซอร์กิตเบรกเกอร์

เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภท คือ

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน (Inverse Time CB) คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ทั่วไปในวงจรจำหน่าย เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้มีเส้นโค้งลักษณะสมบัติ 2 ช่อง คือ ช่วงกระแสเกินโหลดเป็นแบบเวลาผกผัน (Inverse Time) และช่วงกระแสปลดวงจรทันที (Instantaneous Trip) เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้จะต้องปรับตั้งช่วงกระแสปลดวงจรทันทีให้มากกว่ากระแสเริ่มต้นของมอเตอร์

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบปลดทันที (Instantaneous CB) คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีช่วงปลดวงจรทันทีเพียงอย่างเดียว เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้ถูกออกแบบให้ใช้กับวงจรมอเตอร์โดยเฉพาะ

การป้องกันโหลดเกิน (Overload Protection)

ในการใช้งานมอเตอร์นั้นบ่อยครั้งที่มีการใช้งานเกินขนาดจนทำให้มอเตอร์มีความร้อนสูง ซึ่งจะทำความเสียหายต่อมอเตอร์ และบริภัณฑ์ที่ต่ออยู่ได้ เนื่องจากบริภัณฑ์ป้องกันซึ่งได้แก่ ฟิวส์ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในการป้องกันการลัดวงจรนั้น จะต้องเลือกปรับค่าที่สูงเพื่อว่าให้มีค่าเพียงพอสำหรับการเริ่มเดินเครื่อง ดังนั้นเมื่อมีการใช้โหลดเกินบริภัณฑ์ป้องกันเหล่านี้จึงไม่สามารถที่จะให้การป้องกันได้ ทำให้ต้องมีการติดตั้งบริภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์ในกรณีที่มีการใช้โหลดเกิน บริภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันโหลดเกินคือ รีเลย์โหลดเกิน (Overload Relay) มีใช้ 3 แบบ คือ

1. แบบโลหะคู่ (Bimetal Thermal Overload Relay) แบบนี้ทำง่าย และราคาถูกสามารถจำลองพฤติกรรมทางความร้อนของมอเตอร์โดยประมาณเท่านั้น รีเลย์แบบนี้จะป้องกันมอเตอร์ที่ทำงานต่อเนื่องได้ดี แต่สำหรับมอเตอร์ที่ต้องเริ่มเดินเครื่องบ่อยๆ จะใช้ไม่ได้ผล

2. แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Overload Relay) แบบนี้จะสามารถจำลองพฤติกรรมทางความร้อนของมอเตอร์ได้ดี โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และไมโครโปรเซสเซอร์ จึงสามารถปรับแต่งให้ใช้กับมอเตอร์ได้ทุกชนิด

3. แบบเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor Protective Relay) ใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิฝังอยู่ในขดลวดอาร์เมเจอร์ตรวจวัดอุณหภูมิของขดลวดตลอดเวลา สามารถป้องกันความร้อนเกินได้อย่างถูกต้องและใช้กับมอเตอร์ทั้งที่ใช้งานต่อเนื่อง และเป็นช่วงๆ ได้ดี

รีเลย์โหลดเกินที่ใช้นี้จะสามารถปรับตั้งค่ากระแสได้ โดยจะปรับให้มีค่าใกล้เคียงกับกระแสพิกัดของมอเตอร์โดยมาตรฐานแนะนำให้ปรับไว้ไม่เกิน 115% กระแสพิกัดมอเตอร์รีเลย์โหลดเกิน จะต้องสามารถปรับตั้งใหม่ (Reset) ได้ เพื่อว่า หลังจากที่ได้แก้ไขปัญหาโหลดเกินเรียบร้อยแล้ว จะสามารถเริ่มทำงานต่อไปได้ รีเลย์โหลดเกินจะต้องมีการชดเชยผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยรอบเพื่อทำให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดในการติดตั้งรีเลย์โหลดเกินจะต้องติดตั้งอนุกรมเข้ากับสายไฟฟ้าที่ต่อเข้าขั้วของมอเตอร์ โดยที่รีเลย์โหลดเกินจะต่อกับคอนแทกเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ในการตัดวงจรจ่ายไฟของมอเตอร์

สำหรับในกรณีของมอเตอร์ 3 เฟสนั้นควรจะใช้รีเลย์โหลดเกิน ซึ่งสามารถป้องกันการเหลือ 1 เฟส (Single Phasing) ได้ด้วย

เครื่องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller)

คือ ชุดบริภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการเริ่ม หรือหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ ในบางกรณีเครื่องควบคุมมอเตอร์ก็สามารถใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ด้วย แต่ส่วนมากมักใช้ในการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกตัวควบคุมมอเตอร์ว่า ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ (Motor Starter)

ชนิดของเครื่องควบคุมมอเตอร์

ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ใช้โดยการต่อไฟเข้าโดยตรง (Direct on Line Starter หรือ DOL)
2. ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบลดแรงดัน (Reduced Voltage Starter)

1. ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบ DOL

ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบ DOL จะต่อไฟแรงดันพิกัดเข้าที่ขั้วของมอเตอร์โดยตรง ซึ่งการเริ่มเดินเครื่องแบบนี้จะทำให้กระแสเริ่มเดินเครื่อง (Starting Current) มีค่าสูง และแรงบิดเริ่มเดินเครื่อง (Starting Torque) ก็จะมีค่าสูงด้วยเช่นกัน โดยทั่วไปกระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 6 เท่าของกระแสพิกัดของมอเตอร์ ส่วนแรงบิดเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 1.5 เท่าของแรงบิดพิกัดของมอเตอร์

เนื่องจากว่า การเริ่มเดินเครื่องแบบ DOL จะใช้กระแสสูงมากถึง 6 เท่าของกระแสพิกัดของมอเตอร์ จึงส่งผลให้เกิดแรงดันตกสูง ซึ่งอาจจะทำให้ไปรบกวนระบบอื่นๆ ที่ต่ออยู่ด้วย ดังนั้นการเริ่มเดินเครื่องแบบนี้จึงควรใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็กๆ ไม่เกิน 7.5 kW (10 HP) แต่สำหรับในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งระบบไฟฟ้ามีขนาดค่อนข้างใหญ่จะสามารถใช้การเริ่มเดินเครื่องแบบนี้สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ได้ ถ้าหากต้องการแรงบิดเริ่มเดินเครื่องสูง โดยที่ไม่สนใจเรื่องแรงดันตก

2. ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบลดแรงดัน

เนื่องจากการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบ DOL จะใช้กระแสเริ่มเดินเครื่องสูงมาก จึงได้มีการคิดวิธีการเริ่มเดินเครื่องแบบอื่นๆ เพื่อจะลดกระแสเริ่มเดินเครื่องลง โดยการลดแรงดันเข้ามอเตอร์ซึ่งจะสามารถลดค่ากระแสเริ่มเดินเครื่อง และแรงบิดเริ่มเดินเครื่องลง การเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบลดแรงดันสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี ดังนี้

- การเริ่มเดินเครื่องแบบสตาร์-เดลตา (Star-Delta Starting)
- การเริ่มเดินเครื่องด้วยหม้อแปลงออโต (Autotransformer Starting)
- การเริ่มเดินเครื่องด้วยความต้านทาน (Resistance Starting)
- การเริ่มเดินเครื่องแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน (Part-Winding Starting)

ตัวเริ่มเดินเครื่องจะประกอบด้วย คอนแทกเตอร์แม่เหล็ก (Magnetic Contactor) 1 ตัว หรือมากกว่าต่อเข้าด้วยกันเพื่อทำหน้าที่ในการตัดต่อวงจรของมอเตอร์ให้ได้วิธีการเริ่มเดินเครื่องตามต้องการ โดยที่

วงจรควบคุม (Control Circuit) จะทำหน้าที่ในการกำหนดลำดับของการตัดต่อวงจรไฟฟ้ากำลัง (Power Circuit) และโดยทั่วไปตัวเริ่มเดินเครื่อง หรือตัวควบคุมมอเตอร์นี้จะมีเครื่องป้องกันโหลดเกินมอเตอร์อยู่ในชุดเดียวกัน

พิกัดของเครื่องควบคุมมอเตอร์

ขนาดพิกัดของคอนแทคเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องควบคุมมอเตอร์จะต้องสามารถทนกำลังความร้อนที่เกิดขึ้น โดยหน้าสัมผัสไม่เชื่อมติดกัน ดังนั้นขนาดพิกัดกำลังของคอนแทกเตอร์จะต้องไม่น้อยกว่าขนาดกำลังมอเตอร์ คือ kW (Contactor) $\geq$ kW (Motor)

นอกจากจะเลือกขนาดตามขนาดของมอเตอร์แล้ว ลักษณะการใช้งานของมอเตอร์ และจำนวนครั้งการตัดต่อของคอนแทกเตอร์ก็มีส่วนสำคัญต่อกำลังความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยเช่น มอเตอร์ขนาดเท่ากัน แต่ตัวหนึ่งใช้งานในลักษณะที่มีการปิดเปิดมากกว่าอีกตัวหนึ่ง หน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์ก็ย่อมจะทำงานหนักมากกว่า

การติดตั้ง

เครื่องควบคุมมอเตอร์จะต้องติดตั้งในที่ที่มองเห็นได้ (Within Sight) จากมอเตอร์ และอยู่ห่างกันไม่เกิน 15 เมตร เพื่อความปลอดภัยขณะทำการบำรุงรักษา หรือ ซ่อมแซมมอเตอร์

เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ (Disconnecting Means)

เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ใช้ปลดวงจรมอเตอร์ในกรณีฉุกเฉิน หรือทำการซ่อมแซมบำรุงรักษามอเตอร์ ซึ่งต้องมีลักษณะดังนี้

- สามารถตัดวงจรขณะมีโหลดได้
- ใช้กับโหลดตัวเหนี่ยวนำ เนื่องจากโหลดมอเตอร์เป็นโหลดประเภทตัวเหนี่ยวนำจะมีกระแสสูง
- สามารถทนกระแสลัดวงจรสูงสุด ณ จุดติดตั้งได้

โดยทั่วไปนิยมใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือ สวิตช์ตัดตอนขณะมีโหลดเป็นเครื่องปลดวงจรมอเตอร์

พิกัดของเครื่องปลดวงจรมอเตอร์

พิกัดกระแสเครื่องปลดวงจรมอเตอร์ไม่ต่ำกว่า 115% ของพิกัดกระแสมอเตอร์ คือ

$$I_{DM} \geq 1.15\ I_n$$

โดยที่ I_{DM} = พิกัดกระแสเครื่องปลดวงจร (A)

I_n = พิกัดกระแสมอเตอร์ (A)

การติดตั้ง

เครื่องปลดวงจรจะต้องติดตั้งในที่ที่สามารถมองเห็นได้ (Within Sight) และระยะห่างไม่เกิน 15 เมตร ทั้งจากเครื่องควบคุมมอเตอร์ และตัวมอเตอร์ หรือเครื่องจักรที่มีมอเตอร์ขับ แต่ถ้าติดตั้งในที่ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ หรือระยะเกิน 15 เมตร จะต้องล๊อกเครื่องปลดวงจรในตำแหน่งปลดด้วย

วงจรควบคุมมอเตอร์

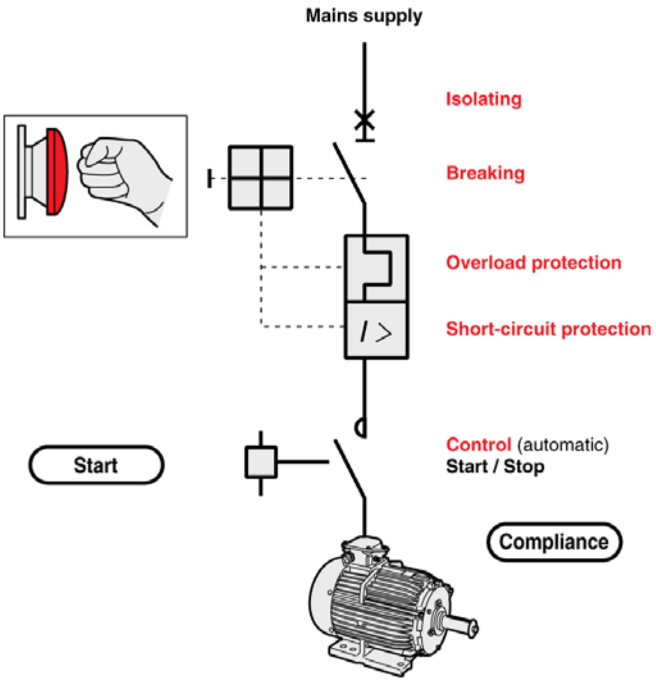
โดยทั่วไปวงจรมอเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

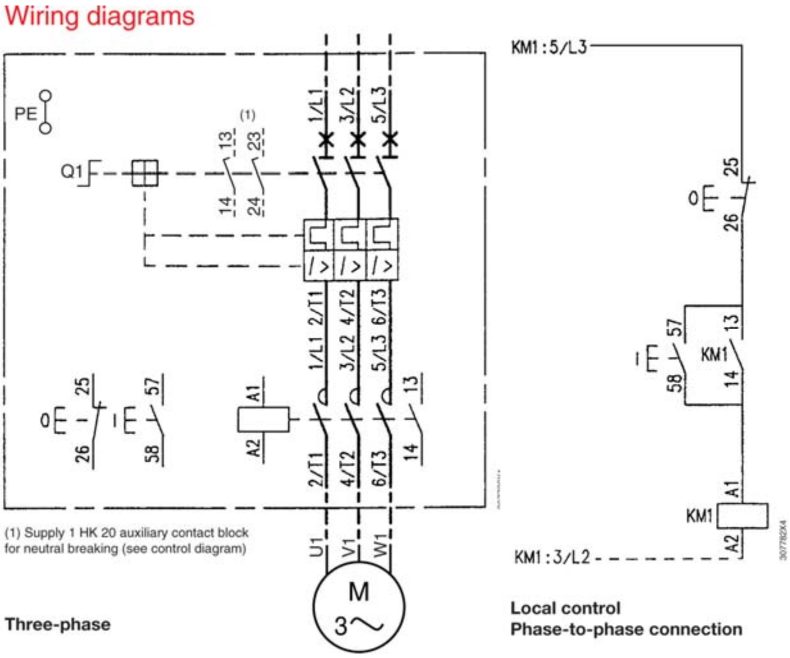
1. วงจรกำลัง (Power Circuit) คือ วงจรที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

2. วงจรควบคุม (Control Circuit) คือ วงจรที่ใช้ควบคุมการทำงานของตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามลำดับที่กำหนด

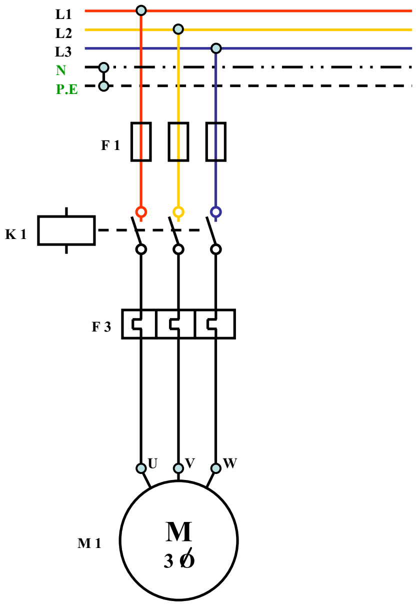
บางครั้งสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส 380/220 V แต่วงจรควบคุมเป็นวงจร 1 เฟส ในกรณีนี้ต้องใช้สายนิวทรัล (Neutral) ของวงจรกำลัง ดังนั้นส่วนของวงจรกำลังที่มาถึงจุดต่อเครื่องควบคุมมอเตอร์จะต้องมีสาย 4 เส้นคือ มีสายนิวทรัลด้วย แต่ส่วนที่ต่อจากเครื่องควบคุมไปตัวมอเตอร์อาจใช้สายเพียง 3 เส้น

6.2 สัญลักษณ์และอุปกรณ์ควบคุม

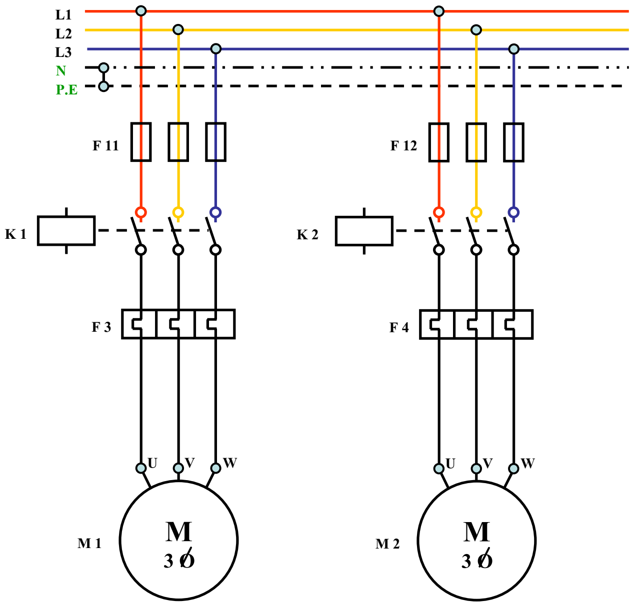




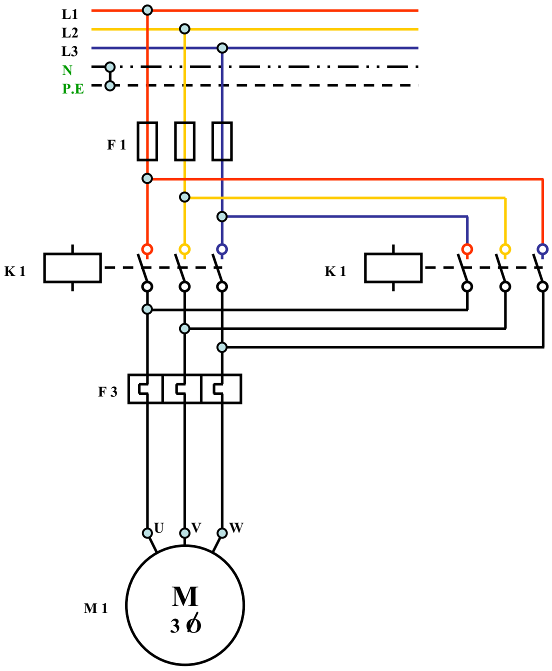
6.3 วงจรควบคุมแบบต่างๆ



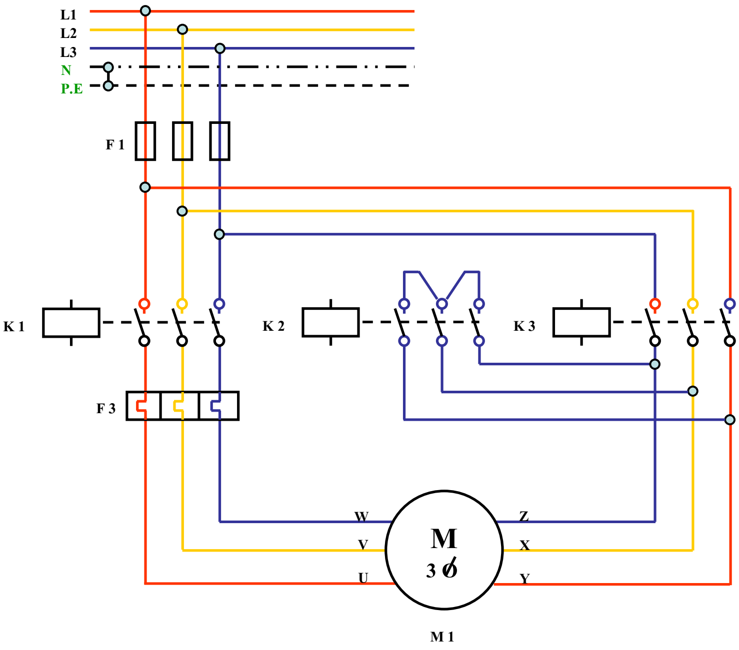
การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส



การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส 2 ตัว แบบเรียงลำดับ 1

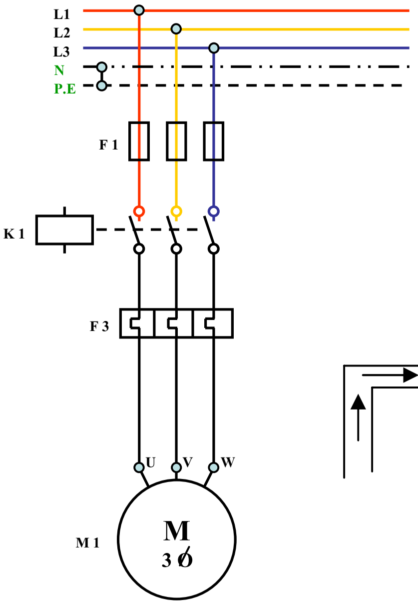


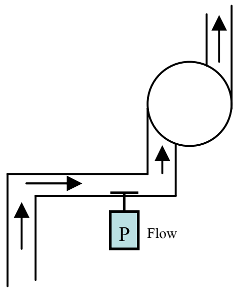
การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบการกลับทางหมุน



การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส แบบ STAR-DELTA

6.4 วงจรควบคุมระบบปั๊มน้ำ





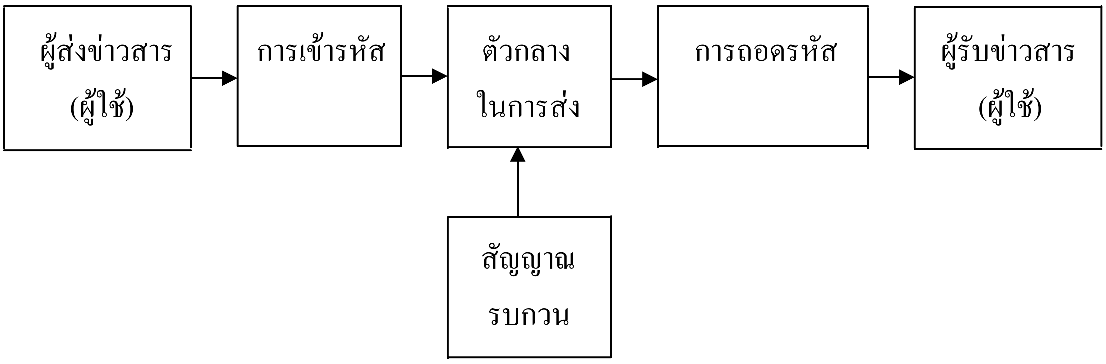
การควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส สำหรับเครื่องปั๊มน้ำ 3 เฟส

รูปการติดตั้งเครื่องปั๊มน้ำที่ใช้กับอาคาร 4 ชั้น

บทที่ 7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบสื่อสาร

- โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร

โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคม แบ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ แสดงดังรูป



รูปโครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร

1. ผู้ส่งข่าวสาร (Sender) เป็นแหล่งกำเนิดข่าวสารต่างๆ เช่น สัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และข้อมูลข่าวสาร เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้เป็นผู้ส่งข่าวสารออกไป

2. ผู้รับข่าวสาร (Receiver) เป็นจุดหมายปลายทางของข่าวสารที่ส่ง การที่รับข่าวสารได้นั้นขบวนการส่งข่าวสารต้องครบสมบูรณ์ตามระบบสื่อสาร หมายถึงการสื่อสารบรรลุจุดประสงค์ หากขบวนการส่งข่าวสารไม่ครบสมบูรณ์เกิดความบกพร่องในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง ข่าวสารจะส่งไม่ถึงปลายทางแสดงว่าการสื่อสารล้มเหลว

3. การเข้ารหัส (Encoding) เป็นการแปลงข้อมูลที่จะส่งไปยังปลายทางให้อยู่ในรูปของรหัสสัญญาณทางไฟฟ้าที่บรรจุข้อมูลข่าวสารทั้งหมดไว้ เพื่อช่วยให้ผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสารมีความเข้าใจตรงกัน และสามารถสื่อสารถึงกันได้

4. การถอดรหัส (Decoding) เป็นการแปลงรหัสสัญญาณทางไฟฟ้าให้กลับมาเป็นข้อมูลข่าวสารทางด้านผู้รับข่าวสาร การถอดรหัสสัญญาณจะต้องตรงกับการเข้ารหัสสัญญาณจึงสามารถสื่อสารกันได้

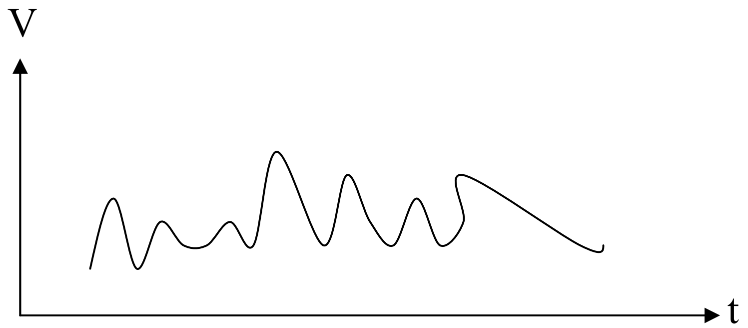
5. ตัวกลางในการส่ง (Transmission Medium) เป็นสื่อกลางที่ข่าวสารใช้ในการเดินทางผ่านไปจากต้นทางถึงปลายทาง สื่อกลางนี้มีหลายชนิดเช่น อากาศ สายนำสัญญาณ ตลอดไปจนถึงสื่อตัวนำต่างๆ เช่น โลหะ น้ำและพื้นดินที่มีความชื้น เป็นต้น ระยะในการสื่อสารขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางในการส่ง

6. สัญญาณรบกวน (Noise) เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มักจะรบกวน และลดทอนสัญญาณทางไฟฟ้าที่ส่งออกไปอาจเกิดขึ้นได้ทั้งด้านผู้ส่งข่าวสาร ผู้รับข่าวสาร และตัวกลางในการส่งข่าวสาร ตำแหน่งที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนอยู่ที่ตัวกลางการส่งข่าวสาร เพราะเป็นส่วนที่ก่อ

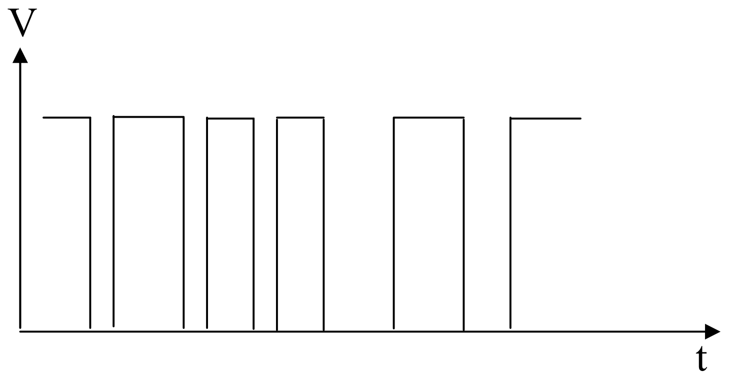
ให้เกิดสัญญาณรบกวน การกำจัดสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้วงจรกรอง (Filter) ทั้งทางด้านต้นทาง และปลายทาง

● ข้อมูลใช้ในการสื่อสาร

การสื่อสารข้อมูลข่าวสารต่างๆ จำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารทั้งสิ้น ในการสื่อสารนั้นต้องเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารให้อยู่ในรูปรหัสสัญญาณทางไฟฟ้า จึงจะสามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารไปตามสื่อตัวกลางต่างๆ ได้ ข้อมูลข่าวสารที่อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้ามี 2 ลักษณะ คือ สัญญาณอะนาล็อก (Analog Signal) และสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal) ลักษณะสัญญาณอะนาล็อก และสัญญาณดิจิตอลแสดงดังรูป



รูป ก. สัญญาณอะนาล็อก



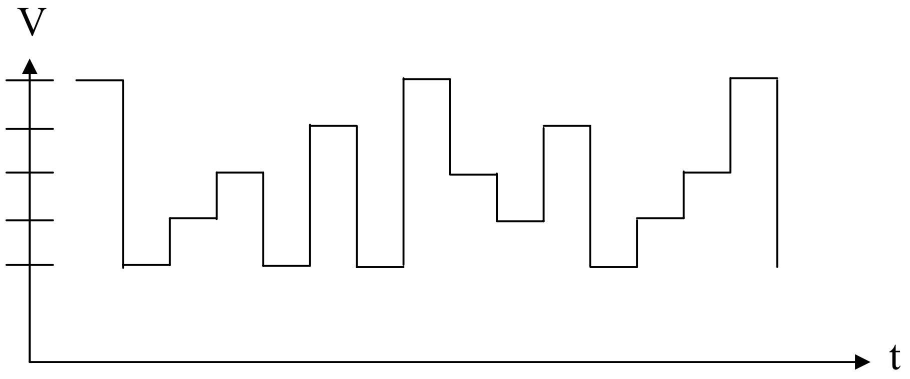
รูป ข. สัญญาณดิจิตอล

รูปข้อมูลข่าวสารในรูปสัญญาณไฟฟ้า

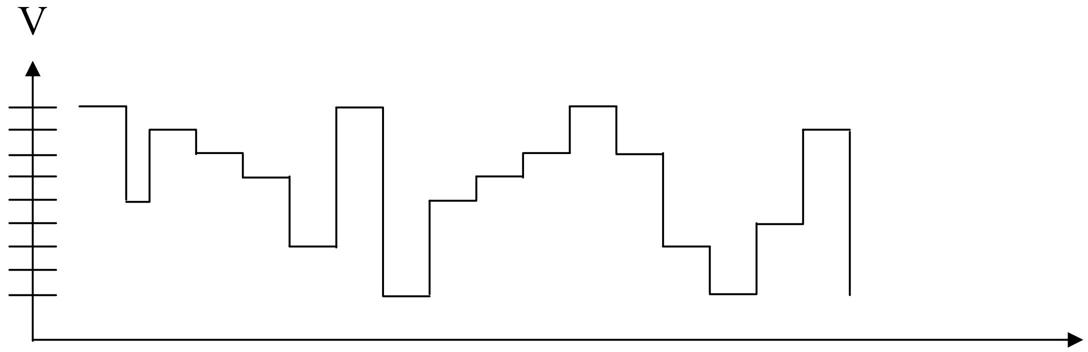
จากรูป (ก) เป็นข้อมูลข่าวสารในรูปสัญญาณไฟฟ้าแบบสัญญาณอะนาล็อก การสื่อสารแบบนี้ เช่น การสื่อสารทางโทรศัพท์ และการสื่อสารทางวิทยุโทรศัพท์ เป็นต้น สัญญาณอะนาล็อกจะอยู่ใน

รูปสัญญาณคลื่นไซน์ มีระดับความแรง (Amplitude) เปลี่ยนแปลงตามระดับความดังของเสียง และมีความถี่ (Frequency) เปลี่ยนแปลงตามเสียงทุ้มแหลมที่ป้อนเข้ามา เรียกการสื่อสารนี้ว่า การสื่อสารสัญญาณอะนาล็อก (Analog Signal Communication)

ส่วนรูป (ข) เป็นข้อมูลข่าวสารในรูปสัญญาณไฟฟ้าแบบสัญญาณดิจิตอลอยู่ในรูปของสัญญาณ 2 ระดับ การสื่อสารแบบนี้เช่น การสื่อสารทางคอมพิวเตอร์ การส่งข้อมูลด้วยสัญญาณดิจิตอลลอจิก เป็นต้น สัญญาณดิจิตอลจะอยู่ในรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีระดับความแรงของคลื่น 2 ระดับคือ สูงสุด หรือ " 1 " และระดับต่ำสุด หรือ " 0 " โดยมีระดับความถี่คงที่ค่าหนึ่งตลอดเวลา นอกจากนั้นอาจมีการแปลงสัญญาณอะนาล็อกให้อยู่ในสัญญาณดิจิตอลก่อนการส่งข้อมูลข่าวสาร สัญญาณดิจิตอลแบบนี้มีระดับความแรงของสัญญาณคงที่อาจเป็น 4 ระดับ หรือ 8 ระดับ เป็นต้น แสดงดังรูป



รูป ก. สัญญาณดิจิตอลแบบ 4 ระดับ



รูป ข. สัญญาณดิจิตอลแบบ 8 ระดับ

รูปการสื่อสารด้วยสัญญาณไฟฟ้าในรูปดิจิตอล

7.1 ระบบโทรศัพท์ (Telephone)

ระบบโทรศัพท์เป็นระบบพื้นฐานในชีวิตประจำวัน หากมีวิธีการติดตั้งและวิธีการใช้งานอย่างถูกต้อง จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้ และต่อองค์กรสูงสุด

7.1.1 ตู้สาขาโทรศัพท์อัตโนมัติ (PABX)

ตู้สาขาโทรศัพท์อัตโนมัติเป็นอุปกรณ์ที่สับจ่ายระบบโทรศัพท์ให้ใช้งานได้มาก มีรายละเอียดดังนี้

7.1.1.1 ลักษณะของตู้สาขาโทรศัพท์อัตโนมัติ

ตู้สาขาโทรศัพท์อัตโนมัติเป็นอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีขนาดใหญ่สามารถเก็บข้อมูลสำรอง และสามารถถ่ายข้อมูลสำรองได้ภายใน 15 นาที

รูปแสดงตู้สาขาโทรศัพท์

7.1.1.2 การรับสัญญาณโทรศัพท์

การรับสัญญาณโทรศัพท์ของตู้สาขาฯ มาจาก 2 ทางคือ จากภายนอก (Trunk line) ซึ่งเป็นสัญญาณจากองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย หรือ หน่วยงานที่ได้รับสัมปทานจากองค์การโทรศัพท์ฯ และจากภายใน (Extension line) ซึ่งเป็นสัญญาณโทรศัพท์จากในหน่วยงานเพื่อติดต่อภายในกันเอง

รูปเครื่องรับโทรศัพท์สาธารณะทั่วไป

7.1.1.3 ความสามารถของตู้สาขาฯ

ตู้สาขาฯ สามารถเรียกสายภายใน เรียกสายภายนอก สายเรียกเข้า โอนสาย พักสาย นอกจากนั้นตู้สาขาฯ ขนาดใหญ่จะสามารถจัดประชุมทางสายโทรศัพท์ได้หลายกลุ่ม และหลายคู่สายอีกด้วย ปกติแล้วตู้สาขาฯ ควรติดตั้งไว้ในห้องที่ปลอดภัยรวมทั้งแผงโทรศัพท์อยู่ภายในห้อง ซึ่งพอจะสรุปขนาดห้องที่เหมาะสมที่จะเป็นห้องเครื่องโทรศัพท์ที่เข้าออกได้สะดวก ตามตาราง

ตารางขนาดห้องเครื่องโทรศัพท์

ขนาด PABX (เลขหมาย)	ขนาดห้อง (ก x ย) เมตร
ไม่เกิน 100	1.5 x 2.0
ไม่เกิน 500	2.0 x 2.5
ไม่เกิน 1,000	2.5 x4.0
ไม่เกิน 2,000	2.5 x 6.0
ไม่เกิน 4,000	5.0 x 9.0
เกิน 4,000	9.0 x 10.0

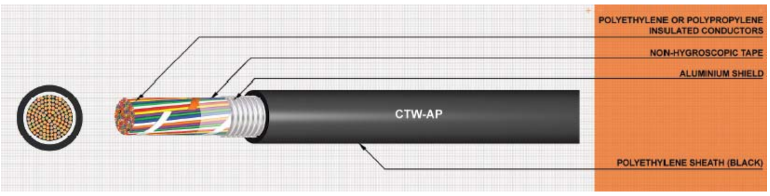
7.1.2 แผง - สาย - เต้ารับโทรศัพท์

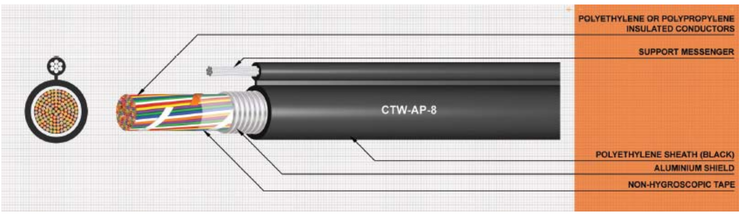
ระบบโทรศัพท์ในหน่วยงานขนาดใหญ่ นอกจากมีตู้สาขาฯ แล้ว จะต้องมีแผงระบบโทรศัพท์หลัก และแผงรับโทรศัพท์ย่อยอีกด้วย

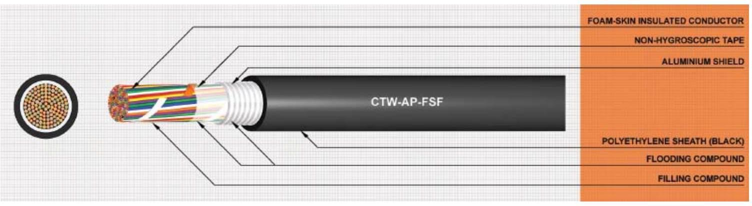
7.1.2.1 แผงโทรศัพท์ด้านหลัก (MDF) แผงโทรศัพท์ด้านหลักมีไว้เพื่อต่อสายโทรศัพท์เข้าแผงโดยไม่ต้องปอกสาย ปกติแล้วการต่อสายโทรศัพท์ด้านเข้า และด้านออกแบบไขว้ (Cross) นอกจากนั้นในแผงจะมีสายล่อฟ้าชนิดท่อแก๊ส (Gas tube) และมีสายดินครบถ้วน

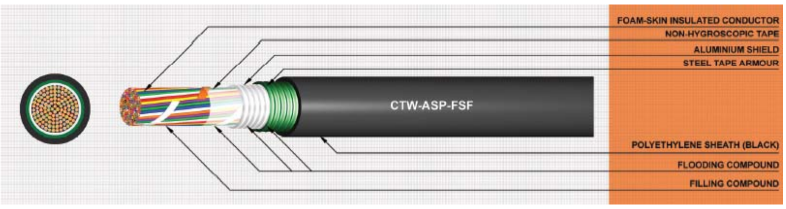
7.1.2.2 แผงโทรศัพท์ย่อย (TC) แผงโทรศัพท์ย่อยนี้มีไว้ เพื่อต่อสายโทรศัพท์เหมือนแผงโทรศัพท์หลัก แต่ต่อตรงถึงกันได้และต่อจากแผงโทรศัพท์ย่อยไปยังปลั๊กโทรศัพท์อีกทอดหนึ่ง

7.1.2.3 สายโทรศัพท์ โดยปกติแล้วสายโทรศัพท์ในระบบโทรศัพท์มีหลายประเภท ซึ่งมีการใช้งานแตกต่างกันตามภาพ คือ

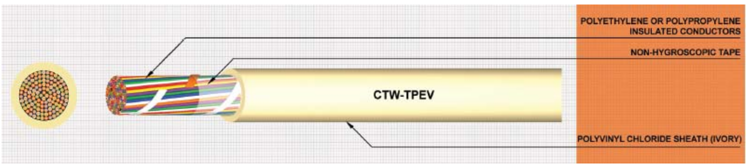




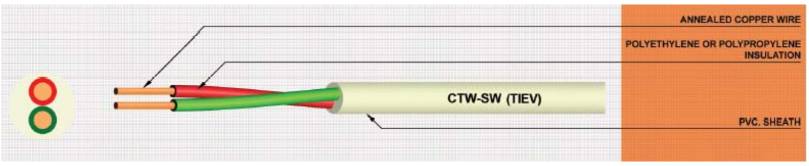




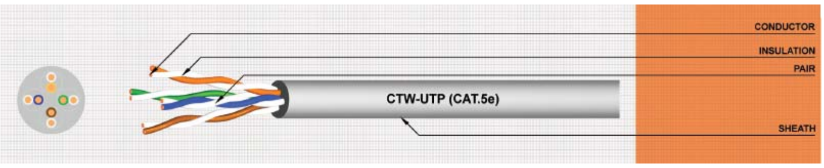
- สาย AP ใช้ภายนอกอาคาร ซึ่งหากฝังดินให้ใช้ชนิด AP FSS

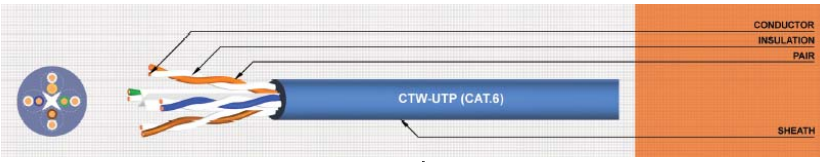


- สาย TPEV ใช้ภายในอาคาร โดยเชื่อมระหว่างแผงโทรศัพท์หลักกับแผงโทรศัพท์ย่อย



- สาย TIEV ใช้ภายในอาคาร โดยเชื่อมระหว่างแผงโทรศัพท์ย่อยกับเต้ารับโทรศัพท์





- สาย UTP ใช้ภายในอาคารทดแทนสาย TIEV ซึ่งหากมีเงินลงทุนมาก และต้องการให้สายโทรศัพท์สามารถใช้เป็นสายสัญญาณคอมพิวเตอร์ได้ก็สามารถลงทุนใช้เป็นสายชนิดนี้ได้

7.1.2.4 เต้ารับโทรศัพท์

เต้ารับโทรศัพท์สำหรับผู้ใช้งานนั้นปกติแล้ว มีให้เลือกใช้ได้ 2 ชนิด คือ

- ชนิด RJ11 ใช้กับสายโทรศัพท TIEV
- ชนิด RJ45 ใช้กับสายโทรศัพท์ UTP ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนสายคอมพิวเตอร์ได้

7.1.3 การตรวจสอบ – ทดสอบโทรศัพท์

การตรวจสอบ และทดสอบโทรศัพท์นั้น ทำให้ระบบโทรศัพท์มีความสามารถในการทำงานได้ดีโดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1.3.1 การตรวจสอบ

ปกติแล้วจะมีการตรวจสอบย่อยคือ ความต้านทานของสายโทรศัพท์ สัญญาณโทรศัพท์ ระบบจัดเก็บข้อมูลการใช้โทรศัพท์ (Billing system) ห้องเก็บตู้สาขาโทรศัพท์ และแผงโทรศัพท์

7.1.3.2 ระยะเวลาในการบำรุงรักษา

ปกติแล้วการตรวจสอบจะมีเวลาความถี่ในการตรวจสอบตามตาราง คือ

ตารางความถี่ในการบำรุงรักษาระบบโทรศัพท์

รายละเอียด	ความถี่ในการบำรุงรักษา
ตรวจสอบแผงโทรศัพท์	ทุก 1 เดือน
ตรวจสอบวัด และบำรุงรักษาใหญ่	ทุก 1 ปี
ตรวจสอบห้องเก็บตู้สาขาโทรศัพท์	ทุก 1 สัปดาห์

7.2 ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Close Circuit Television)

ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Close Circuit Television) หรือเรียกโดยทั่วไปว่า CCTV เป็นระบบที่ใช้ตรวจสอบเกี่ยวกับเรื่องความปลอดภัยในอาคาร โรงงานอุตสาหกรรม หน่วยงาน หรือสถานที่ที่สำคัญ สถานเอกอัครราชทูตประเทศต่างๆ รวมทั้งใช้ในการแก้ไขปัญหาการจราจรของกรุงเทพมหานคร โดยทำการติดตั้งกล้อง CCTV ในที่สูงอาจเป็นเสาไฟฟ้า หรืออาคารสูงที่เหมาะสมตามจุดที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น วงเวียนอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิทั้ง 4 ด้าน โดยมีห้องศูนย์ปฏิบัติการจราจรกลางคอยควบคุมสั่งการ ซึ่งจะดูจาก TV ที่รับภาพตามจุดต่างๆ ว่า สี่แยกไหนควรจะเปิดไฟเขียว หรือไฟแดงเพื่อการให้การจราจรสัมพันธ์กัน

อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานร่วมกับระบบ CCTV ก็คือ กล้อง แผงควบคุมกล้อง ซึ่งจะต้องสามารถเลือกทำงานได้อย่างอิสระ สามารถจัดลำดับภาพต่างๆ ให้ปรากฏบนจอรับภาพได้ตามลำดับโดยอัตโนมัติ และสามารถตัดภาพจากจอหนึ่งไปยังอีกจอหนึ่งได้ขึ้นอยู่กับผู้ควบคุม หรือชุดบันทึกเทปโดยอุปกรณ์สายต่อเชื่อมมักใช้สายโคแอกเชียลที่ไม่ควรมีอัตราสูญเสียเกิน 12 dB /100 m ส่วนสายสัญญาณที่รับจากกล้องส่วนใหญ่ใช้สาย Travelling cable ขึ้นอยู่กับมาตรฐานผู้ผลิต ส่วนแหล่งพลังงานที่จ่ายให้กล้องจะมีทั้งระบบ 220 VAC หรือ 12 VAC , 24 VAC หรือ 12 VDC

รูปแสดงกล้องวงจรปิดและจอรับภาพ

ในกรณีที่ใช้งานร่วมกับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติ ระบบจะรับสัญญาณผ่านรีเลย์ในระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติ และส่งสัญญาณเตือนไปยังแผงควบคุมกล้อง เพื่อเลือกกล้องที่ต้องการให้ภาพปรากฏบนจอและบันทึกเหตุการณ์ลงเทป ส่วนการทำงานร่วมกับระบบควบคุมทางเข้าอาคาร ระบบจะได้รับสัญญาณผ่านรีเลย์ในระบบควบคุมทางเข้าอาคาร ในกรณีที่เปิดประตูค้างเกินเวลาที่กำหนด หรือมีการงัด หรือผลักประตูเข้าโดยไม่ใช้บัตร แล้วส่งสัญญาณเตือนไปยังแผงควบคุมกล้อง เพื่อเลือกกล้องที่ต้องการปรากฏบนจอแล้วทำการบันทึกเหตุการณ์ลงในเทปต่อไป

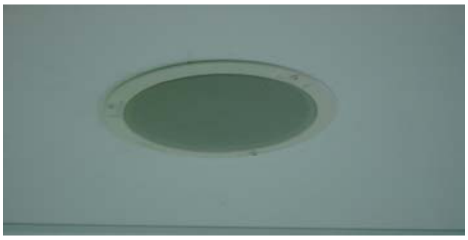
7.3 ระบบเสียง (Audio system)

ระบบเสียง (Audio system) จะพบในอาคารทั่วไปเช่น อาคารสูง โรงงานอุตสาหกรรม อาคารที่ทำการอาคารชุด สถานีขนส่งผู้โดยสาร เพื่อจะใช้กระจายเสียงในพื้นที่ส่วนกลาง และอาจจะประกอบด้วยระบบประกาศเรียก โดยอุปกรณ์ของระบบเสียงซึ่งได้แสดงดังรูปจะประกอบด้วย CD หรือ TUNER หรือ Cassette tape desk และ Pre & Power Ammplifier ไมโครโฟนพร้อมระบบ On-Off Switch , Zone Selector Switch และ Electronic Chime , ปุ่มปรับเสียง (Volume Control) , ลำโพง ซึ่งอาจจะเป็นแบบแตร หรือแบบติดฝังเพดาน ซึ่งทั้ง 2 แบบจะต้องใช้หม้อแปลงแมชชิ่ง (Transformer matching) ที่มีค่าประมาณ 100 V_{line} และอาจมีเปอร์เซ็นต์แท็ปที่ 100% , 50% , 25% ในกรณีที่เป็นแบบแตร ส่วนลำโพงแบบฝังติดเพดานมักจะมีขนาดไม่ต่ำกว่า 3 W อาจปรับระดับได้ที่ 3 , 1.5 , 0.75 W และระยะห่างของลำโพงที่ติดฝ้าเพดานประมาณ 2 เท่าของความสูงของลำโพง สายสัญญาณมักจะใช้สาย VCT ที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 1.5 mm^2

รูปไมโครโฟนระบบประกาศเรียก

รูปตู้อุปกรณ์ระบบเสียง

รูปปุ่มปรับเสียง



รูปลำโพงแบบติดฝังเพดาน

7.4 ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (LAN)

ระบบเครือข่าย LAN คือระบบที่เชื่อมโยงคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกันเป็นข่ายงาน โดยจำกัดงานในวงพื้นที่ส่วนหนึ่ง เช่น ภายในสถานที่ทำงาน และภายในโรงงานอุตสาหกรรมเดียวกัน เป็นต้น เพื่อใช้งานทรัพยากรบางส่วนร่วมกัน เรียกข้อมูลบางอย่างมาใช้งานร่วมกัน ตลอดจนเก็บข้อมูลรวมกันไว้ในแหล่งข้อมูลเดียวกันใช้ฮาร์ดดิสก์ร่วมกัน ใช้เครื่องพิมพ์ หรือ เครื่องพล็อตเตอร์ร่วมกัน และใช้เครื่องสแกนภาพร่วมกัน เป็นต้น

ในการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์หลักต่างๆ ร่วมกันเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายของระบบมากขึ้น ระบบเครือข่าย LAN จะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ตัวหนึ่งมีฮาร์ดดิสก์อยู่ ทำหน้าที่เป็นศูนย์บริการข้อมูล หรือ ไฟล์เซอร์เวอร์ (File Server) คอยให้บริการกับสถานีงานต่างๆ เช่น การโหลดโปรแกรม การโหลดข้อมูล และการจัดเก็บข้อมูล เป็นต้น ลักษณะคอมพิวเตอร์แม่ข่ายแสดงดังรูป

รูปแสดงคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

รูปแสดงตู้อุปกรณ์ระบบเครือข่าย

การเชื่อมต่อระบบเครือข่าย LAN กับนอกระบบเครือข่ายสามารถทำได้ โดยการใช้สะพานเชื่อมโยง (Remote Bridge) เป็นตัวเชื่อมโยงในการสื่อสารถึงกัน การใช้สะพานเชื่อมโยงนี้สามารถใช้ผ่านทางโมเด็ม (Modem) ทำให้ผู้ใช้งานสะดวกในการเชื่อมต่อระบบจากที่ห่างไกลได้ การเรียกข้อมูล การปรับปรุงข้อมูล ทำได้ตลอดเวลา การใช้งานในระบบเครือข่าย LAN ทำได้หลากหลายช่วยกระจายทรัพยากรให้ใช้งานได้อย่างทั่วถึง และประหยัด

7.4.1 การเรียกข้อมูล และการจัดเก็บข้อมูล

ฐานข้อมูลในระบบเครือข่าย LAN จะถูกเก็บไว้ที่ไฟล์เซอร์เวอร์ สถานีงานต่างๆ สามารถเรียกโปรแกรมที่ไฟล์ถูกเก็บไว้มาใช้งาน นำมาสร้างงาน หรือสร้างข้อมูลใหม่ ตลอดจนสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ตลอดเวลา การจัดเก็บข้อมูลเหล่านี้จะถูกจัดเก็บไว้บนไฟล์เซอร์เวอร์ของระบบเครือข่าย LAN เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้ทันทีตลอดเวลา

7.4.2 การทำระบบงานที่เป็นความลับบนเครือข่าย LAN

ระบบงานบางชนิดจำเป็นต้องเป็นความลับบนระบบเครือข่าย LAN สามารถสร้างรหัสผ่านซึ่งเป็นความลับ (Password Security) ได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันข้อมูลรั่วไหล การเรียกใช้งานข้อมูลทุกครั้งต้องใส่รหัสผ่านให้ถูกต้อง จึงสามารถเข้าไปเรียกดู หรือแก้ไขข้อมูลต่างๆ ได้

7.4.3 การใช้เครื่องพิมพ์ร่วมกัน

ระบบเครือข่าย LAN นอกจากสามารถใช้โปรแกรมต่างๆ ข้อมูลต่างๆ ร่วมกันแล้วยังสามารถใช้เครื่องพิมพ์ร่วมกันได้ โดยมีโปรแกรมจัดการเกี่ยวกับงานพิมพ์ คอยจัดลำดับการพิมพ์ก่อน-หลัง หรือจัดลำดับงานพิมพ์ด่วน ตลอดจนจำนวนชุดของการพิมพ์งาน และยังสามารถเลือกชนิดเครื่องพิมพ์ตามความต้องการได้

7.5 ระบบใยแก้วนำแสง (Fiber Optics)

เส้นใยแสง (Optical Fiber) หรือเส้นใยแก้ว หรือไฟเบอร์ออฟติก (Fiber Optics) คือเส้นใยขนาดเล็กที่ผลิตขึ้นมาจากแก้วหรือไฟเบอร์ โดยใช้เทคโนโลยีชั้นสูงในการผลิต ทำให้ได้เส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กและมีความยาวมากๆ เช่นเดียวกับสายไฟฟ้า ประโยชน์ของเส้นใยแสงใช้เป็นสายนำแสงให้เดินทางไปได้ไกลๆ ในทิศทางที่ต้องการใช้งานในระบบสื่อสาร และโทรคมนาคมทางแสง มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าสื่อสารไมโครเวฟและการสื่อสารดาวเทียม เหตุที่ใยแก้วนำแสงเข้ามามีบทบาทในการสื่อสาร เพราะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการสื่อสารด้วยสายไฟ หรือด้วยคลื่นวิทยุได้เป็นอย่างดี

ข้อดีของเส้นใยนำแสง มีด้วยกันหลายประการดังนี้

1. ส่งด้วยคลื่นแสงที่มีความถี่สูงมาก ทำให้แถบของความถี่ใช้งานมากขึ้น สามารถส่งข่าวสารข้อมูลได้ในปริมาณมากขึ้น

2. การสูญเสียในการส่งสัญญาณต่ำ ทำให้ระยะทางของการติดตั้งสถานีทวนสัญญาณไกลมากขึ้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายลง

3. ขนาดเล็กน้ำหนักเบา ทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง และติดตั้งได้ง่าย

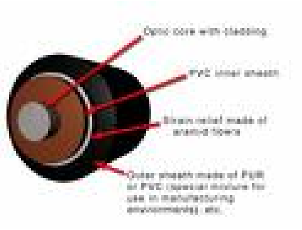
4. ไม่เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Noninduction) ไม่เกิดการรบกวนทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Interference) และไม่เกิดการรั่วไหลของสัญญาณจึงไม่มีปัญหาในการชีลด์ เพื่อป้องกันการรบกวน

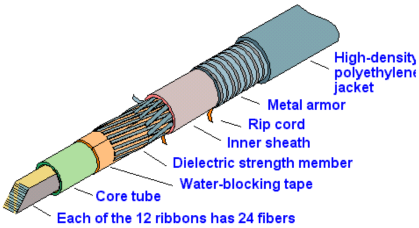
5. เป็นฉนวนทางไฟฟ้า ทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างเครื่องรับ และเครื่องส่ง

6. การแอบต่อไปใช้งานทำได้ยาก ช่วยรักษาความปลอดภัยในการสื่อสารโทรคมนาคมมากขึ้น

7. ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ เพราะแก้วที่ใช้ในการผลิตเส้นใยแสงหาได้ง่ายกว่าทองแดง

โครงสร้างของเส้นใยแสง ประกอบด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า คอร์ (Core) เป็นส่วนที่อยู่ตอนกลางของเส้นใยแสงในรูปทรงกระบอก และส่วนที่หุ้มคอร์โดยรอบเรียกว่า แคลดดิง (Cladding) ทั้งคอร์ และแคลดดิงเป็นฉนวนชนิดโปร่งใสนำมาประกอบเป็นเส้นใยแสง โดยส่วนของคอร์มีดัชนีหักเหแสงน้อยกว่าประมาณ 0.2 ถึง 3% ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแสงดังรูป





รูปแสดงโครงสร้างของเส้นใยนำแสง

ชนิดของเส้นใยนำแสง

การชนิดของเส้นใยแสงแบ่งได้หลายลักษณะคือ แบ่งตามชนิดของสารที่ใช้ผลิต แบ่งตามจำนวนแบบการแพร่กระจาย (Prapagation Mode) และแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหของคอร์ ดังตาราง

ตารางการแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะต่างๆ

ลักษณะการแบ่ง	ชนิดที่แบ่ง
ตามชนิดของสารที่ผลิต	1. แก้วซิลิกา (Silica Glass)
	2. แก้วหลายชนิด (Multi Component Glass
	3. พลาสติก (Plastic
ตามแบบการแพร่กระจาย	1. แบบค่าเดียว (Single Mode)
	2. แบบหลายค่า (Multi Mode)
ตามลักษณะดัชนีการหักเหแสงของคอร์	1. แสดงค่าเป็นขั้นบันได (Step Index)
	2. แสดงค่าเป็นชั้นๆ (Graded Index)

การแบ่งตามชนิดของสารที่ใช้ผลิต

สารที่นิยมใช้ในการผลิตเส้นใยแสง แบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ

1. ใช้แก้วซิลิกา (S_iO_2) เป็นส่วนมาก และเติมสารอื่นปนลงไปด้วยเช่น โบรอน (B) ฟลูออไรน์ (F) และเจอร์เมเนียม (Ge) เป็นต้น เพื่อทำให้ค่าดัชนีการหักเหแสงเปลี่ยนแปลงไปตามต้องการ

2. ใช้แก้วหลายชนิดปนกัน ได้แก่ แก้ว แก้วที่มีโบรอนและซิลิคอนผสมแคลเซียมโซดา และอื่นๆ เป็นสารหลัก ส่วนสารเจือปน เช่น แคลเซียม (Ca) และโซเดียม (Na) เป็นต้น

3. ใช้พลาสติกพวกซิลิคอนเรซิน (Silicon Resin) อาคริลเรซิน (Acryl Resin) เป็นต้น

การสื่อสารทางแสงด้วยเคเบิลเส้นใยแสงที่ใช้ในเครือข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม นิยมใช้เส้นใยแสงชนิดที่ทำจากแก้ว เพราะมีคุณสมบัติของการส่งคลื่นแสงคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และการสูญเสียในการส่งต่ำ ทำให้ได้ระยะการสื่อสารไกลมากขึ้น ส่วนงานสื่อสารที่ต้องการระยะทางใกล้ใช้งานไม่ซับซ้อน ต้องการต่อใช้งานแบบง่ายๆ สามารถหักโค้งงอเส้นใยแสงมากๆ จะนิยมใช้เส้นใยแสงชนิดพลาสติก

การแบ่งตามแบบการแพร่กระจาย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบแพร่กระจายคลื่นค่าเดียว ถูกเรียกว่า เส้นใยแสงแบบ SM ลักษณะคลื่นแสงที่ผ่านเข้าไปในเส้นใยแสง ลักษณะนี้มีค่าเดียว สภาพของแสงไม่ทนต่อการแตกกระจัดกระจาย

2. แบบแพร่กระจายคลื่นหลายค่า ถูกเรียกว่า เส้นใยแสงแบบ MM ลักษณะคลื่นแสงที่ผ่านเข้าไปในเส้นใยแสง ลักษณะนี้มีหลายค่า หลายมุมตกกระทบ

การแบ่งตามลักษณะดัชนีการหักเหแสงของคอร์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบแสดงค่าเป็นขั้นบันได (SI) เส้นใยแสงแบบนี้มีส่วนของคอร์ และแคลดดิง แยกจากกันอย่างชัดเจน โดยคอร์ และแคลดดิงมีดัชนีหักเหแสงแตกต่างกันแบบขั้นบันได (Step)

2. แบบแสดงค่าเป็นชั้นๆ (GI) เส้นใยแสงแบบนี้มีส่วนของคอร์ และแคลดดิงแยกจากกันไม่ออก โดยคอร์มีดัชนีหักเหแสงสูงในตอนกลาง ค่อยๆ ลดลงเป็นชั้นๆ ทีละน้อย จนถึงขอบนอกของเส้นใยแสง ทำให้ส่วนของคอร์ และแคลดดิงกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน

การเดินทางของแสงผ่านเข้าไปในเส้นใยแสง โดยผ่านส่วนของคอร์เกิดการหักเหของแสงภายในคอร์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารใช้ผลิต ลักษณะการแพร่กระจายและโครงสร้างดัชนีหักเหแสงของเส้นใยแสง เกิดคลื่นแสงปรากฏในเส้นใยแสง และได้สัญญาณเอาต์พุตของแสงแตกต่างกัน

รูปแสดงเส้นใยนำแสงที่ใช้ในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

การสูญเสียแสงในเส้นใยนำแสง

การสื่อสารทางแสงด้วยการส่งผ่านเส้นใยนำแสง ถึงแม้ว่าจะเกิดการสูญเสียแสงในเส้นใยนำแสงน้อย แต่การสูญเสียแสงขณะส่งผ่านเส้นใยแสงก็ยังเกิดขึ้น การสูญเสียแสงเป็นตัวบอกให้ทราบว่า กำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแสงนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร การสูญเสียแสงยิ่งมีค่าน้อยจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงไปได้ไกลมากขึ้น การสูญเสียแสงในเส้นใยแสงแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ การสูญเสียคงที่ภายในตัวเอง (Fixed Loss) และการสูญเสียที่เพิ่มเข้าไป (Addition Loss) ขณะนำเส้นใยแสงไปใช้งาน การสูญเสียในเส้นใยแสงเกิดจากสาเหตุต่างๆ

การสูญเสียในเส้นใยนำแสงเกิดจากสาเหตุต่างๆ

1. การสูญเสียแสงเกิดการดูดกลืนแสง (Absorption Loss) เกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1.1 สูญเสียแสงจากสารดูดกลืนแสงที่ใช้ผลิตเส้นใยแสงเช่น แก้วจะเกิดการดูดกลืนแสงอัลตร้าไวโอเลตมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ 0.1 μm และดูดกลืนแสงอินฟราเรดมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ 10 μm ส่วนความยาวคลื่นอื่นๆ จะมีการสูญเสียจากการดูดกลืนแสงลดลงอย่างมาก

1.2 สูญเสียแสงจากสารอื่นๆ ที่เจือปนอยู่ในตอนเริ่มที่พัฒนาเส้นใยแสงใหม่ๆ การสูญเสียแสงส่วนใหญ่เกิดจากอิออน (Ion) ของโลหะต่างๆ ต่อมาสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขึ้นจนสามารถกำจัดอิออนของโลหะต่างๆ ออกได้ ซึ่งปัจจุบันการสูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากอิออนของไฮโดรซิน (Hydroxy Ion) ทำให้ช่วยลดการสูญเสียแสงจากการดูดกลืนแสงลงได้มาก

2. การสูญเสียแสงเกิดจากการกระจายแสง (Scattering Loss) เกิดขึ้นเมื่อแสงไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสง ทำให้แสงเกิดการแตกตัวกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ สาเหตุเกิดจากขบวนการผลิตเส้นใยแสงมีผลทำให้ความหนาแน่น หรือค่าดัชนีการหักเหแสงมีความไม่สม่ำเสมอจัดเป็นสาเหตุการสูญเสียแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ขนาดของการกระจายแสงเป็นสัดส่วนกับความยาวแสงยกกำลังสี่ เป็นเหตุให้ความยาวคลื่นแสงที่เดินทางยิ่งมีค่ามาก การกระจายแสงจะมีค่าน้อยลง และขนาดของกระจายแสงยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตเส้นใยแสง ถ้าผลิตเส้นใยแสงที่อุณหภูมิต่ำการสูญเสียแสงเกิดจากการกระจายแสงจะลดลง

3. การสูญเสียแสงจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง (Ununiformity Loss) เส้นใยนำแสงสร้างขึ้นมาใช้งานไม่มีลักษณะกลม 100% นอกจากนั้นคอร์และแคลดดิงในเส้นใยแสงไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงกระบอกที่สม่ำเสมอตลอดเวลา มีรอยขรุขระตรงรอยต่อคอร์ และแคลดดิง ความขรุขระนี้ทำให้แสงเกิดการกระจัดกระจายแสงบางส่วนสะท้อนแบบสะเปะสะปะ ทำให้เกิดการสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น

4. การสูญเสียแสงจากการงอโค้งเล็กน้อย (Micro Bending Loss) เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทบต่อด้านข้างของเส้นใยแสง ทำให้เส้นใยแสงโค้งงอเล็กน้อย แสงบางส่วนจะเกิดการสูญเสียไป จึงต้องทำการป้องกันแรงกดด้านข้างด้วยการเพิ่มชั้นเปลือกหุ้มให้เส้นใยแสง ลักษณะเส้นใยแสงแบบมีเปลือกหุ้มแสดงดังรูป

รูปแสดงเส้นใยแสงชนิดมีเปลือกหุ้มป้องกัน

5. การสูญเสียแสงจากการบิดงอ (Bending Loss) เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการบิดงอ หรือบิดเกลียวของเส้นใยแสงมีความโค้งงอมาก ส่งผลให้แสงตกกระทบรอยต่อคอร์ และแคลดดิงมีมุมตกกระทบน้อยกว่ามุมวิกฤติ แสงจะทะลุรอยต่อคอร์ และแคลดดิงเกิดการสูญเสียแสงขึ้น จึงต้องระมัดระวังในการบิดงอเส้นใยแสงให้มีรัศมีในการบิดงอที่ยอมรับได้

6. การสูญเสียแสงจากการต่อเส้นใยแสง (Connection Loss) การต่อเส้นใยแสงเข้าด้วยกันต้องระมัดระวังในการต่อ ส่วนสำคัญอันดับแรกคือ คอร์ ต้องต่อให้ส่วนคอร์ของเส้นใยแสงทั้ง 2 เส้นตรงกันพอดี ขณะต่อต้องต่อให้สนิทอย่างสมบูรณ์ไม่เกิดฟองอากาศตกค้าง หรือไม่เกิดช่องว่าง (Gap) ตรงรอยต่อสิ่งเหล่านี้มีผลต่อการสูญเสียแสงในเส้นใยแสงอย่างมาก

7. การสูญเสียแสงจากการส่งผ่านแสง (Coupling Loss) การสูญเสียเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสง หรืออุปกรณ์รับแสงรอยต่อต้องสนิท ผิวส่วนการต่อต้องเรียบ และเข้ากันได้พอดี